



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MELINA KALLIO-KÖNNÖ
PUOLIKUIVAN RIKINPOISTOPROSESSIN LOPPUTUOTTEEN
KUSTANNUSTEHOKAS LAADUNHALLINTA
Diplomityö

Tarkastaja: professori Risto Raiko
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden tiedekuntaneuvos-
ton kokouksessa 7. toukokuuta
2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

KALLIO-KÖNNÖ, MELINA: Puolikuivan rikinpoistoprosessin lopputuotteen kustannustehokas laadunhallinta

Diplomityö, 65 sivua, 8 liitesivua

Syyskuu 2014

Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka

Tarkastaja: professori Risto Raiko

Avainsanat: Kivihiilivoimalaitos, puolikuiva rikinpoistoprosessi, lopputuote, laadunhallinta

Vuonna 2016 voimaan tuleva Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU teollisuuden päästöistä tulee kiristämään Helsingin Energian voimalaitosten päästörajoja. Vuoteen 2020 mennessä Helsingin Energian on tarkoitus lisätä uusiutuvien energianlähteiden käyttöään 20 %:lla ja vuosisadan puolessa välissä toiminnan on tarkoitus olla täysin hiilidioksidineutraalia. Näiden tavoitteiden toteuttamiseen vaaditaan investointeja ja tässä työssä on arvioitu Helsingin Energian voimalaitosten rikinpoistoprosessien toimintaa tulevaisuuden tiukentuvien kriteerien valossa.

Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksilla suoritettiin kevään 2014 aikana rikinpoistolaitoksen koeajojaksot, joiden aikana kerättyjen tulosten ja käyttökokemusten perusteella tutkittiin miten uusien SO₂-päästörajojen puitteissa ajaminen vaikuttaa rikinpoistoprosesseihin. Tarkasteltavana oli myös se, kuinka hyvin nykyiset laitokset sopeutuvat uusien päästörajojen puitteissa ajamiseen. Tutkittiin, millä toimenpiteillä rikinpoistoprosessissa syntyvän lopputuotteen tuotantomäärää pystyttäisiin pienentämään ja laatua parantamaan. Tällä hetkellä lopputuotetta sijoitetaan jäteveron alaisena tavanomaisen jätteen kaatopaikalle yhdessä lentotuhkan kanssa suhteessa 60 % lentotuhkaa ja 40 % rikinpoiston lopputuotetta, mutta 50:50 suhde olisi lopullinen tavoite.

Koeajojaksojen perusteella havaittiin, että Salmisaaren voimalaitoksella ei tarvitse tehdä merkittäviä muutoksia prosessiin tiukentuvien rajojen vuoksi. Hanasaassa toisella kattilalla kokeiltiin tiukempien rajojen puitteissa ajoa, joka osoittautui odotettua vaikeammaksi. Toisella kattilalla ajettiin nykyisten päästörajojen mukaisesti ja seospolletettiin hiilen seassa pellettiä 2,0–11,8 % täydestä polttoainetehosta. Hanasaaren voimalaitoksella tulee koeajojaksojen perusteella tehdä muutoksia prosessiin, jotta tiukempien päästörajojen puitteissa ajaminen onnistuisi. Molemmilla laitoksilla lopputuotteen laatua tulee saada parannettua, jotta 50:50 suhteessa loppusijoitus olisi mahdollista.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

KALLIO-KÖNNÖ, MELINA: Cost Effective Quality Management of Semidry Desulphurization Process' Product

Master of Science Thesis, 65 pages, 8 Appendix pages

September 2014

Major: Power Plant and Combustion Technology

Examiner: Professor Risto Raiko

Keywords: Coal power plant, semidry desulphurization process, end product, quality management

The European Parliament and Council's directive 2010/75/EU on industrial emissions comes to into force 2016. The directive will tighten the emission limits of the coal power plants of Helsingin Energia. By year 2020 Helsingin Energia is planning on increasing its' renewable energy source usage with 20 % compared to the current situation. The goal for year 2050 is that Helsingin Energia's operation will be completely carbon neutral. Investments are required in order to reach these objectives. In this thesis the functioning of the semi-dry flue gas desulphurization processes of Helsingin Energia's power plants is evaluated in light of upcoming tightening requirements.

During spring of 2014 test drives were executed on Hanasaari and Salmisaari power plants' flue gas desulphurization processes. The goal was to see how operating on the new emission limits effects the desulphurization processes. Under examination was also how well the existing power plants adapt to new operating boundaries. Target of the study was to find out what measures are needed to reduce the turnout of flue gas desulphurization process' end product and improve its quality. At the moment end product is placed under landfill tax to landfills meant for non-hazardous waste. End product is landfilled with fly ash with proportion of 60 % fly ash and 40 % end product. Proportion of 50:50 is the final goal.

Based on the test drives it was clear that on Salmisaari power plant there is no need for major improvements in order for the power plant to operate without problems when the new emission limits come to effect. On Hanasaari power plant driving under stricter limits was tested with one boiler which proved to be harder than anticipated. The other boiler was driven under current emission limits and there were different types of pellets burned among the coal with percentages of 2,0–11,8 % of the full fuel power. There are changes needed on Hanasaari power plant's process in order for it to be possible for the power plant to operate according to the upcoming stricter emission limits. The quality of both power plants' end products needs also improvement so that they can be placed on landfill in proportion of 50:50.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö tilattiin Helsingin Energian liiketoimintayksiköltä HelenVoima ja työn tekemisestä vastaavana organisaationa toimi Tuotannon tukipalvelut -yksikkö. Kiitän mahdollisuudesta päästä tekemään opinnäytetyö ajankohtaisesta ja tärkeästä aiheesta. Kiitokset lisäksi innostavasta työilmapiiristä sekä Hanasaaren että Salmisaaren voimalaitoksille.

Haluan kiittää tämän työn valvojaa professori Risto Raikoa avusta ja kehittäivistä kommenteista työn kirjoittamisen aikana. Erityiskiitokset ansaitsee työni ohjaajana toiminut ympäristö- ja kemikaaliasioiden vanhempi asiantuntija Sari Väättäjä, joka on opastanut minua työni eri vaiheissa. Kiitän myös kaikkia muita työni valmistumisessa auttaneita henkilöitä.

Helsingissä 30.6.2014

Melina Kallio-Könnö

SISÄLLYS

Tiivistelmä	i
Abstract	ii
Alkusanat	iii
Termit ja niiden määritelmät	vi
1 JOHDANTO	1
1.1 Helsingin Energian kivihiilivoimalaitokset.....	1
1.2 Työn tavoitteet	2
2 VOIMALAITOSPROSESSIT JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ	3
2.1 Hanasaari.....	3
2.2 Salmisaari.....	6
2.3 Puolikuiva rikinpoistoprosessi	6
2.4 Rikinpoistoprosessin taustaa	13
2.5 Laitosten aiheuttama ilmastokuormitus	15
2.6 Sivutuotteet	16
2.6.1 Pohjatuhka	16
2.6.2 Lentotuhka	17
2.6.3 Rikinpoiston lopputuote.....	17
3 TOIMINNAN LAINSÄÄDÄNNÖLLISET VAATIMUKSET	18
3.1 Ympäristönsuojelulaki	18
3.2 Jätelaki.....	19
3.3 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista	19
3.4 Jäteverolaki	20
3.5 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA).....	20
3.6 Rakennustuoteasetus	21
3.7 REACH-asetus	21
3.8 RPT:n kaatopaikkakelpoisuus ja hyötykäyttö.....	21
4 TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOKSET JA TUTKIMUSHANKKEET	24
4.1 Teollisuuspäästödirektiivi	24
4.1.1 Typenoksidien vähentämismenetelmät.....	25
4.1.2 LCP-BREF.....	26
4.2 Uusiutuvien polttoaineiden käyttöönotto	27
4.3 Sivutuotteiden tutkimushankkeet	28
5 RIKINPOISTOLAITOKSEN TALOUS JA TOIMINNASTA AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET.....	29
5.1 Kalkin käyttö.....	29
5.2 Hiili	30
5.3 Paineilman tuotto	30
5.4 Sivutuotteiden kuljetus- ja käsittelykustannukset	30
5.5 Prosessivesi	31

6	RIKINPOISTOLAITOSTEN KOEAJOKSOT	32
6.1	Hanasaaren koeajot	32
6.2	Salmisaaren koeajot	36
6.3	Rikinpoiston lopputuotteen ominaisuudet.....	38
6.3.1	Hanasaaren lopputuote.....	38
6.3.2	Salmisaaren lopputuote	41
7	LAADUNHALLINTAMAHDOLLISUUDET TUOTANTOPROSESSISSA	44
7.1	Käytettävä hiili	44
7.2	Rikinpoiston loppulämpötila.....	47
7.3	Kalkin kulutus	49
7.4	Vesijohtoveden käyttö.....	54
7.5	Rikinpoistoprosessin muutokset	54
7.6	LT/RPT-seoksen loppusijoituksesta	56
7.7	Biopolttoaineista	59
7.8	Hyötykäyttökohteet nyt ja tulevaisuudessa.....	60
8	YHTEENVETO	61
	LÄHTEET	63
	LIITTEET	66

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BAT	paras käyttökelpoinen teknologia (best available technology)
blokki	Yhden kattilan, hiilenkäsittelyn, höyrypiirin ja savukaasuprosessin muodostama kokonaisuus
CLEEN Oy	Energian ja ympäristön strategisen huippuosaamisen keskittymä (Cluster for Energy and Environment)
DOC	liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus (dissolved organic carbon)
HaRi	Hanasaaren rikinpoistolaitos
hygroskooppinen	kidevettä sitova
kiertopöly	rikinpoistoprosessissa talteen otettu reaktiotuote, jota ohjataan kiertopölysiiloon, missä siitä valmistetaan reaktoriin sumutettavaa lietettä
IE-direktiivi	Teollisuuspäästädirektiivi (Industrial Emissions directive)
lentotuhka	kevyttä tuhkaa, joka kulkeutuu savukaasujen mukana savukaasukanavaan ja savukaasujen puhdistusprosessiin.
LCP-BREF	suurten polttolaitosten toimialakohtaiset referenssiasiakirjat
LCP-direktiivi	EU:n direktiivi polttoaineteholtaan vähintään 50 MW:n polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta (large combustion plant)
Low-NO _x -tekniikka	tekniikka, joka vähentää typenoksidien muodostumista savukaasuihin
L/S	L/S-suhde eli nesteen ja kiinteän aineen suhde seoksessa

MMEA	CLEEN Oy:n tutkimusohjelma (Measurement, Monitoring and Environmental Assessment)
pohjatuhka	kivihiilen poltossa syntyvä, kattilan pohjalle jäävä, raskas tuhka
poltettu kalkki	kalsiumoksidi (CaO), joka on valmistettu kalkkikivestä termisesti käsittelemällä
puolikuiva rikinpoistomenetelmä	Erotusmenetelmä savukaasujen rikkidioksidille, jossa sumutetaan kalsiumpohjaista lietettä pieninä pisaroina reaktoriin savukaasujen joukkoon. Pisarat reagoivat reaktorissa savukaasuissa olevan rikkidioksidin kanssa ja muodostavat hienojakoista kuivaa kalsiumsulfiittipohjaista lopputuotetta.
RPT	puolikuivan rikinpoistomenetelmän lopputuote
SaHi	Salmisaaren maanalainen kivihiilivarasto
sammutettu kalkki	kalsiumhydroksidi (Ca(OH) ₂), jota tehdään sekoittamalla poltettuun kalkkiin vettä ja näin ollen ”sammutettu”
SaRi	Salmisaaren rikinpoistolaitos
SCR-menetelmä	selektiivinen katalyyttinen menetelmä (selective catalytic reduction), typenoksidien vähentämismenetelmä
SNCR-menetelmä	selektiivinen ei-katalyyttinen menetelmä (selective non-catalytic reduction), typenoksidien vähentämismenetelmä
TOC	orgaanisen hiilen kokonaismäärä (total organic carbon)
vapaa alkali	puolikuivan rikinpoistomenetelmän reaktiotuotteen se osuus, joka voi vielä reagoida rikkidioksidin kanssa (eli kalsiumhydroksidi ja –karbonaatti)

1 JOHDANTO

Helsingin Energia kuuluu Suomen suurimpiin energiayrityksiin, joka tuottaa kaukolämpöä Helsingin lämmitystarpeisiin kattaen siitä yli 90 prosenttia ja myy sähköenergiaa Suomessa 400 000 asiakkaalle. Sähköä ja lämpöä tuotetaan yhdistetysti Salmisaaren, Hanasaaren ja Vuosaaren voimalaitoksissa, joiden lisäksi eri puolilla Helsinkiä on kymmenen kaukolämpöä tuottavaa huippu- ja varalämpökeskusta. Salmisaarella ja Hanasaarella käytetään pääpolttoaineena hiiltä ja Vuosaaren voimalaitoksessa maakaasua. Yritys tuottaa myös kaukojäähdytystä Salmisaaren lämpökeskuksessa ja Katri Valan lämpöpumppulaitoksessa. (Helsingin Energian internetsivut)

Helsingin Energian tavoitteena on tuottaa energiaa hiilidioksidineutraalisti vuoteen 2050 mennessä. Uusiutuvien energianlähteiden käyttöä on tarkoitus lisätä 20 %:lla ennen 2020-luvun alkamista. Tavoitteiden saavuttamiseksi energiaa tullaan jatkossa tuottamaan myös biomassalla ja merituulivoimalla. Uusiutuvien energianlähteiden lisäämiseen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen tähtäävä kehitysohjelma hyväksyttiin vuonna 2010 Helsingin kaupunginvaltuuston toimesta. Kehitysohjelman pohjana ovat Helsingin kaupungin tavoitteet kaupunkitilan käytön suhteen sekä EU:n, Suomen ja Helsingin ilmastopoliittiset tavoitteet.

Yrityksen toimintaympäristössä on tapahtumassa suuria muutoksia ja Helsingin Energian kivihiilivoimalaitosten toimintaedellytykset muuttuvat huomattavasti tulevien ympäristönsuojeluvaatimusten sekä uusiutuvien energialähteiden käyttöönoton myötä. Käytössä olevilla Hanasaaren B-voimalaitoksella ja Salmisaaren voimalaitoksella savukaasut puhdistetaan puolikuivalla rikinpoistoprosessilla, jonka on mukauduttava tulevaisuudessa tiukentuvan teollisuuspäästädirektiivin vaatimuksiin. Laitoksilla aloitettava pelletin seospoltto, tavoitteet hiilidioksidi- ja typpipäästöjen vähentämiseen sekä suurten polttolaitosten BAT-vaatimukset tulevat muuttamaan voimalaitosprosessien toimintaympäristöä.

1.1 Helsingin Energian kivihiilivoimalaitokset

Hanasaari B-voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1974 ja se sijaitsee Helsingin Sörnäisissä. Voimalaitos on sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantolaitos, jossa pääpolttoaineena käytetään kivihiiltä. Varapolttoaineena on raskas polttoöljy. Laitos koostuu kahdesta kivihiilikattilasta K3 ja K4, joilla tuotetaan peruskuormaa sekä maakaasua että öljykäyttöisistä apukattiloista K8 ja K9. (Helsingin Energia 2002)

Salmisaaren voimalaitos muodostuu kahdesta voimalaitosrakennuksesta (Salmisaari A ja Salmisaari B), kattiloista K1 ja K7, apukattilasta K5, kahdesta lämpöakusta, kahdesta kylmäkeskuksesta sekä kaukolämpökattiloista K6.1, K6.2 ja K6.3. Salmisaaren A-voimalaitoksella on tuotettu sähköä vuodesta 1953 alkaen. Vanhan A-voimalaitoksen tiloihin valmistui vuonna 1986 hiilipölyä polttava kuumavesikattila K7,

joka otetaan käyttöön vain tarvittaessa. Salmisaaren päätuotantoyksikkönä on nykyisin B-voimalaitoksen kattila K1. Molempien voimalaitosyksiköiden pääpolttoaineena on kivihiili ja varapolttoaineena raskas polttoöljy.

Kivihiilivoimalaitoksilla syntyy polttoprosessin sivutuotteina pohjatuhkaa, lentotuhkaa ja rikinpoiston lopputuotetta (RPT). Sivutuotteita on pyritty hyötykäyttämään mahdollisimman laajalti, mutta RPT:lle ei ole vielä löydetty sopivaa käyttökohdetta. Suurin osa RPT:sta sijoitetaan kalkkikaivoksen täyteaineeksi, siten, että siihen sekoitetaan joukkoon lentotuhkaa. Sekoittamisen ansiosta aineet muodostavat kovan materiaalin ja RPT:ssa olevien haitta-aineiden liukoisuus vähenee.

1.2 Työn tavoitteet

Tämä työ tehtiin osana CLEEN Oy:n (Cluster for Energy and Environment) Ympäristön mittausta ja monitorointia (Measurement, Monitoring and Environmental Efficiency Assessment, MMEA) -tutkimusohjelmaa. Työn tavoitteena on selvittää Helsingin Energian kivihiilivoimalaitosten rikinpoiston lopputuotteen laadunhallintamahdollisuuksia. Tarkoituksena olisi, että rikinpoiston lopputuotetta pystyttäisiin sijoittamaan tavanomaisen jätteen kaatopaikalle yhdessä lentotuhkan kanssa suhteessa 50:50. Myös rikinpoistoprosessin ja palamisen sivutuotteiden käsittelykustannusten hallintaa tutkitaan.

Tutkimuksessa hyödynnetään voimalaitoksilla suoritettavia koeajojaksoja, joissa laitoksia ajetaan tulevien tiukempien rikkidioksidipäästörajojen mukaisesti. Hanasaaressa tutkitaan toisella kattilalla sitä, että ajetaan pelkällä hiilellä tulevien rajojen puitteissa ja toisella sitä, että poltetaan puupellettiä hiilen seassa nykyisten rajojen sisällä. Salmisaaren koeajoissa laitosta ajetaan mahdollisimman tasalaatuista hiiltä polttamalla tulevan nykyistä tiukemman rikkipäästörajan alapuolella.

Koeajojaksojen aikana rikinpoiston lopputuotteesta ja lentotuhkasta otetaan näytteitä, joista tutkitaan muun muassa miten laitoksen ajaminen huomattavasti nykyistä alemman rikkidioksidipäästörajan puitteissa vaikuttaa prosessin sivutuotteisiin. Tarkasteltavana on myös se, vaikuttaako puupelletti lopputuotteen laatuun. Tutkimustulosten perusteella pystytään tekemään päätelmiä mahdollisista toimenpiteistä, joilla rikinpoiston lopputuotteen laatua pystyttäisiin parantamaan.

2 VOIMALAITOSPROSESSIT JA TOIMINTAYMPÄRISTÖ

2.1 Hanasaari

Hanasaaren voimalaitosalueella on käytössä Hanasaari B-voimalaitos. A-voimalaitos poistettiin käytöstä vuonna 2000 ja koko voimalaitosrakennus purettiin vuonna 2008. Hanasaaren B-voimalaitoksen höyrykattilat K3 ja K4 ovat välitulistimella varustettuja luonnonkiertoisia lieriökattiloita. Yhdessä kattilassa on kaksi lämmönsiirrintä, joissa palamisilma ja syöttövesi esilämmitetään. Lisäksi kattilaan kuuluu neljä tulistinta, joista yksi on välitulistin. Yhden kattilan, hiilenkäsittelyn, höyrypiirin ja savukaasuprosessin muodostama kokonaisuus tunnetaan nimellä blokki. Tässä tapauksessa nimet siis ovat blokki 3 ja blokki 4. Kattilakohtainen polttoaineteho on 363 MW, nimelliskaukolämpöteho 210 MW ja nimellissähköteho 113 MW. Keskimääräinen vuotuinen käyttöaika kattiloilla on 5000–8000 tuntia ja kattilan hyötysuhde on 90–92 %. (Häyrinen 2013)

Voimalaitoksella on oma polttoainesatama, johon tuodaan noin laivalasteina sekä kivihiiltä että öljyä. Laitoksella käytettävä kivihiili tulee suurimmaksi osin Venäjältä. Pienempiä määriä hiiltä tulee Puolasta ja Kazakstanista. Kivihiili varastoidaan hiilikentällä, josta se kuljetetaan voimalaitokselle. (Häyrinen 2013)

Hiili kulkee hihnakuljettimien avulla kuularengasmyllyihin, joita on yhteensä neljä yhtä blokkia kohden. Hiilen syöttömäärää voidaan säädellä hiilenjakajan hihnan pyörintänopeuden avulla. Hiilimyllyissä hiili jauhetaan pölyksi ja ainoastaan riittävän hienoksi jauhautunut hiili läpäisee myllyn yläosassa olevan seulan ja kulkeutuu myllyn läpi kantoilman avustamana kattilan polttimiin.

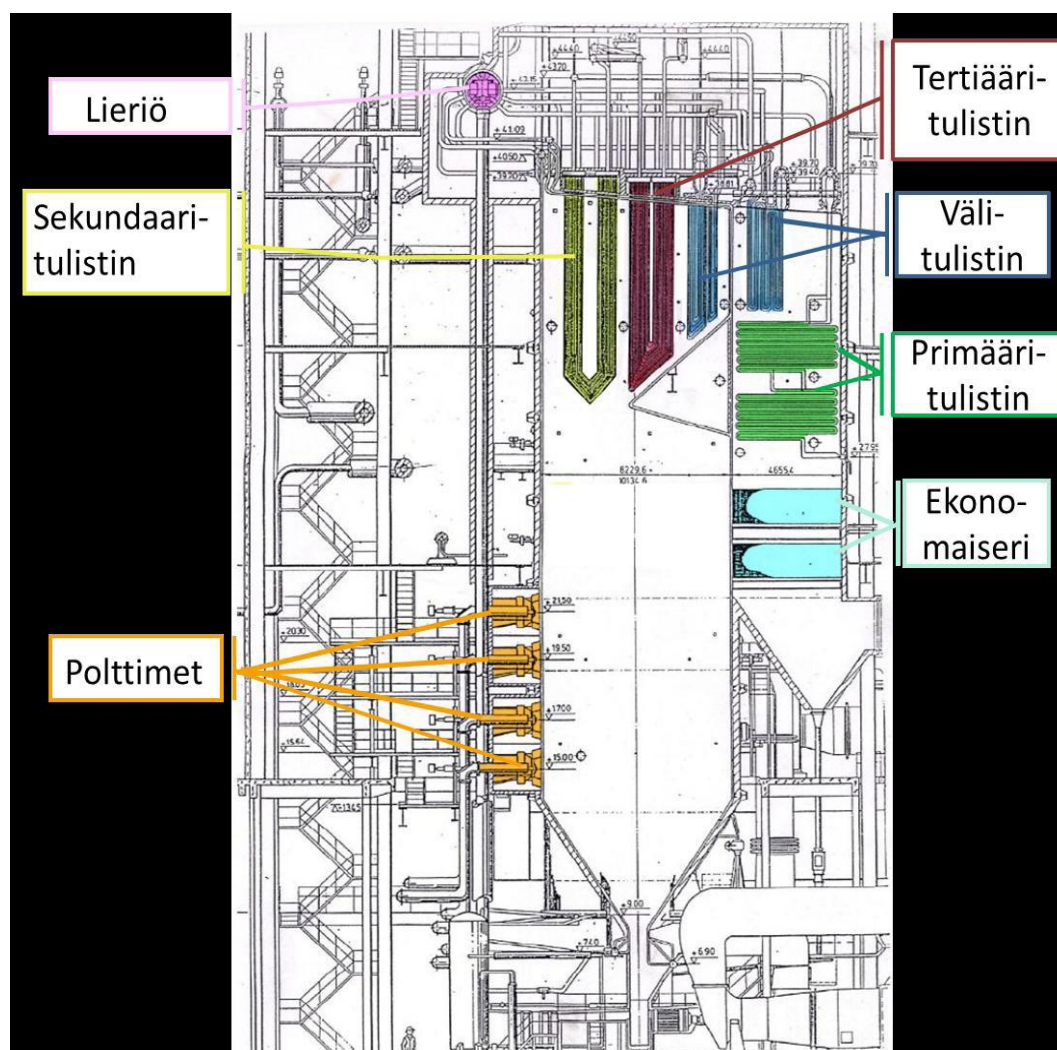
Kattilassa on polttimia päällekkäin kahden metrin välein neljässä tasossa ja jokainen puhallin vie hiilipölyä yhdelle tasolle. Yhdellä tasolla on aina kolme poltinta, joten polttimia on yhteensä 12. Tyypiltään polttimet ovat öljy- ja hiilipölykäyttöisiä Low-NO_x-etuseinäpolttimia. Polttimet käynnistetään ylösajossa raskaalla polttoöljyllä. Tämän jälkeen tulipesään ohjataan hiilipölyä, joka palaa keskeytyksettä käynnistymisen jälkeen.

Palamisprosessin korkea lämpötila aiheuttaisi suuren typenoksidien muodostumismäärän ilman Low-NO_x-polttimien käyttöä. Niiden avulla polttoa porrastetaan käyttämällä sekundääri- ja tertiääri-ilmaa, minkä seurauksena ilmaa ei riitä typenoksidien muodostumiseen yhtä paljon kuin porrastamattomassa poltossa. Tällöin myös polton palamislämpötilaksi saadaan noin 1100 °C, mikä on noin 400 °C alhaisempi lämpötila kuin ilman Low-NO_x-polttimien käyttöä. Palamisessa käytettävä happi saadaan ilmasta.

Poltossa muodostuu lento- ja pohjatuhkaa, jotka sisältävät palamatonta hiiltä, metallioksideja ja raskasmetalleja. Lentotuhka on mukana palamistuotteista muodostu-

vassa savukaasussa, joka kulkeutuu kattilasta savukaasukanavaan. Pohjatuhka tippuu kattilan pohjalle ja se ohjataan edelleen pohjakuonasäiliöön. Savukaasujen lämpöä hyödynnetään sekä syöttöveden esilämmittimessä eli ekonomaisierissa että palamisilman esilämmittimessä, LUVO:ssa. Syöttövesi lämmitetään ekonomaisierissa 260 °C:sta 350 °C:seen ja palamisilma LUVO:ssa 60 °C:sta 260 °C:seen. Savukaasujen luovutettua lämpöään on niiden lämpötila noin 130 °C ennen savukaasun puhdistuksen alkamista.

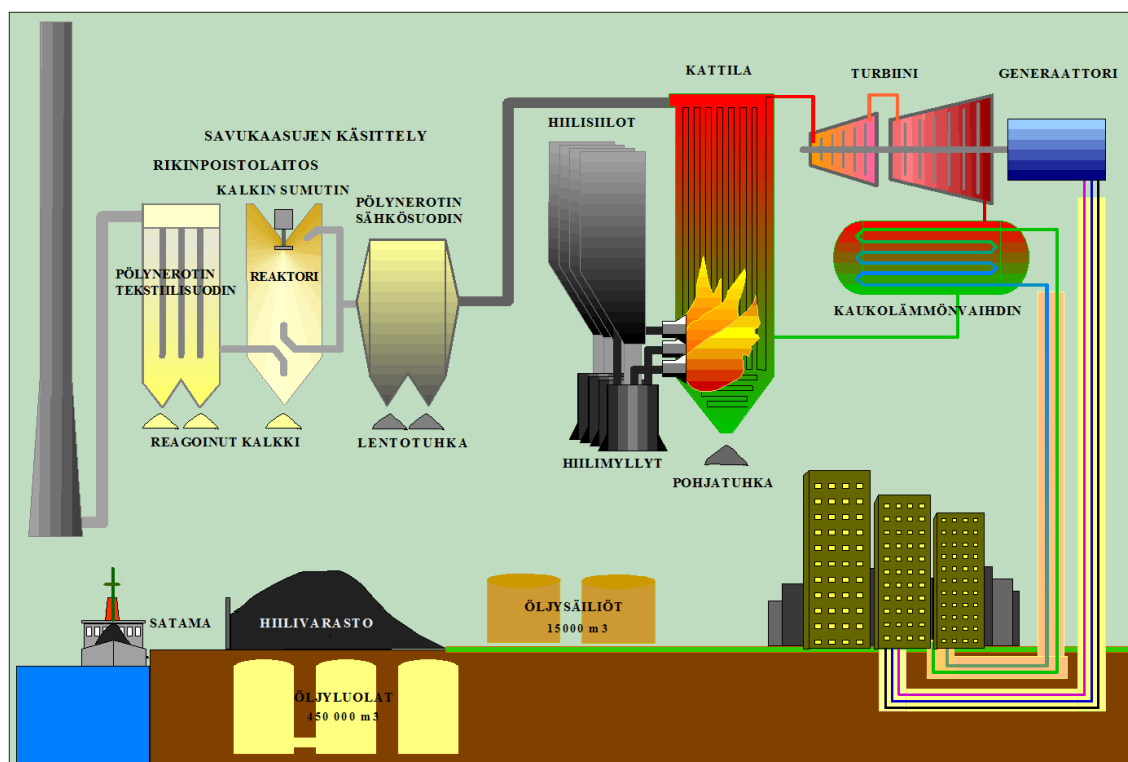
Kattilassa vesi kiertää lieriöstä laskuputkien kautta kattilan alaosaan ja sieltä kattilan läpi ylöspäin seinillä olevissa höyrystinputkissa takaisin lieriöön. Putkissa höyrystynyt vesi ohjataan lieriöstä primääri-, sekundääri- ja tertiääritulistimiin ja nestemäisessä muodossa säilynyt vesi sekä höyrystyneen veden tilalle tullut esilämmitetty syöttövesi jatkavat kiertoa lieriöstä laskuputkiin. Luonnonkiertokattilassa veden kulkeminen perustuu höyryn ja veden tiheyseroon. Laskuputkissa virtaava kylläinen vesi pakottaa kevyen vesi-vesihöyrysekoituksen takaisin lieriöön nousuputkia pitkin. Kuljettuaan tulistimien läpi on höyryn paine 157 baaria ja lämpötila 535 °C. Hanasaaren voimalaitoksen kattilan poikkileikkauskuvaa on nähtävillä kuvassa 2.1. (Grönroos 2013, Häyrinen 2013)



Kuva 2.1. Kattilan poikkileikkaus.

Laitoksen tubiini on tyypiltään kaksipesäinen väliottovastapaineturbiini, jonka korkeapainepesään höyry ohjataan tulistimista. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa turbiinista otetaan väliottohöyryä, sillä sen avulla saadaan sähköntuotannon hyötysuhdetta nostettua. Turbiinin korkea- ja matalapainepesistä otettua väliottohöyryä käytetään syöttöveden ja lauhteen esilämmittämisessä. Korkeapainepesässä höyryn lämpötila ja paine laskevat ja sieltä höyry johdetaan välitulistimeen, joka nostaa höyryn lämpötilan takaisin lämpötilaan 535 °C. Höyryn paine on välitulistimen jälkeen 50 baaria.

Välitulistimesta höyry johdetaan turbiinin matalapainepesään. Laajeneva höyry pakottaa turbiinin pyörimään, mikä puolestaan saa samalla akselilla olevan generaattorin pyörimään. Turbiinin liike-energia muutetaan generaattorin avulla sähköenergiaksi, jonka jälkeen sähkö syötetään valtakunnan verkkoon. Matalapainepesästä höyry kulkeutuu kaukolämmönsiirtimiin, joissa höyryn lämpöenergia siirtyy kaukolämpöverkkoon. Höyry lauhtuu vedeksi luovuttaessaan energiaa ja se pumpataan esilämmitettynä väliottohöyryillä takaisin lieriöön, jolloin kierto alkaa alusta. Kuvassa 2.2 on esitettyä Hanaaaren voimalaitoksen periaatekuva. (Helsingin Energian intranet-sivut)



Kuva 2.2. Hanaaaren voimalaitoksen periaatekuva.

Mikäli turbiini ohitetaan, voidaan tuottaa pelkkää kaukolämpöä. Järjestelmän häiriötilanteissa tai lämmöntarpeen ollessa pieni, voidaan tuotettu lämpö ajaa mereen merivesijäähdyttimiä käyttämällä. Tällaisessa tapauksessa tuotetusta sähköstä käytetään nimitystä lauhdesähkö. Nykyään mereen ajetun lämmön määrä on pieni järjestelmän luotettavuuden ja lauhdesähkön tuottamisen kannattamattomuuden vuoksi.

2.2 Salmisaari

Vuonna 1984 A-voimalaitoksen päätoimisena laitoksena on korvannut Salmisaaren B-voimalaitos. Salmisaaren A-voimalaitos, eli lämpöä tuottava kuumavesikattila K7, tuottaa nykyään vain kaukolämpöä lämmöntarpeen mukaan. Taulukkoon 2.1 on koottu Salmisaaren kattiloiden tietoja. (Itkonen 2010)

Taulukko 2.1. Salmisaaren voimalaitoksen tietoja.

	Kaukolämpöteho (MW)	Polttoainetehto (MW)	Sähköteho (MW)	Vuotuinen käyttöaika (h)	Hyötysuhde (%)
Salmisaari B (K1)	300	506	160	5000–7800	88
Salmisaari A (K7)	180	185	0	1000–3000	92

Toimintaperiaatteeltaan Salmisaaren voimalaitos on hyvin samanlainen kuin Hanasaaren voimalaitos. Joitain rakenteellisia eroja prosesseista löytyy. Salmisaareissa on apukattila sekä huippulämpökattila, joita käytetään tarpeen mukaan. Apukattila K5 tuottaa omakäyttöhöyryä ja sen polttoaineena on raskas polttoöljy. Polttoainetehto kattilalla K5 on 12 MW ja sitä käytetään vuosittain noin 1000–2500 tuntia höyryntarpeesta riippuen. Huippulämpökattila K6.1–K6.3 sisältää 3 erillistä kattilaa, joiden yksittäinen polttoainetehto on 44 MW. Kattiloita käytetään kaukolämmön huippukulutuksen aikaan eli noin 20–500 tuntia vuosittain. (Häyrinen 2012)

Salmisaaren voimalaitoksen polttoaineet, kivihiili ja polttoöljy, tuodaan laitokselle yleisesti Tammasaaren polttoainesataman kautta, joka sijaitsee Ruoholahden pohjoisrannalla. Salmisaareissa poltetaan pääasiassa venäläistä ja puolalaista kivihiiltä. Voimalaitoksella käytetään polttoaineena käynnistykseen ja tukipolton aikana polttoöljyä, joka varastoidaan maanalaisiin varastoihin. (Häyrinen 2012, Itkonen 2010)

Kivihiili nostetaan laivoista purkaussuppiloihin, joista hiili edelleen siirretään kuljettimilla maanalaiseen kivihiilivarastoon, SaHi:in. Kallioluoliin louhittu hiilivarasto otettiin käyttöön vuonna 2004. Siiloihin mahtuu enimmillään 250 000 kuutiometriä hiiltä, joka vastaa suunnilleen puolen vuoden kulutusmäärää. (Häyrinen 2012)

Kivihiili tuodaan SaHi:sta maanpinnalle päiviäsiiloihin kuljettimilla. Yhteen päiviäsiiloon mahtuu hiilimäärä, joka vastaa noin kahden vuorokauden täyttä tuotantotehoa. Siilosta hiili jatkaa matkaansa hiilimyllyyn, jossa se jauhautuu hienoksi pölyksi ja jatkaa matkaansa kattilaan. Polttoprosessi on Salmisaareissa hyvin samanlainen kuin Hanasaaressakin.

2.3 Puolikuiva rikinpoistoprosessi

Sekä Hanasaaren että Salmisaaren rikinpoistolaitoksilla on käytössä puolikuiva rikinpoistomenetelmä. Hanasaaren rikinpoistolaitos otettiin käyttöön vuonna 1991. Hanasaari B-voimalaitoksen rikinpoistolaitoksen tehtävänä on puhdistaa kattiloiden K3 ja K4 savukaasut. Molempien kattiloiden savukaasulinjat ovat täysin toisistaan erotetut ja oh-

jaavat savukaasut omiin puhdistusprosesseihinsa. Tämän ansiosta kattiloita voidaan käyttää toisistaan riippumatta. Kalkinkäsittely- ja lietteenvalmistuslaitteistot ovat kuitenkin yhteiset molemmille linjoille. Rikinkoistolaitokselta tulevat valuma-, pesu- ja ylivuotovedet kulkeutuvat laitoksen lattiatason alla olevaan keräilyaltaaseen. Kertynyt vesi kierrätetään takaisin rikinkoistoprosessiin. (Fläkt 1991)

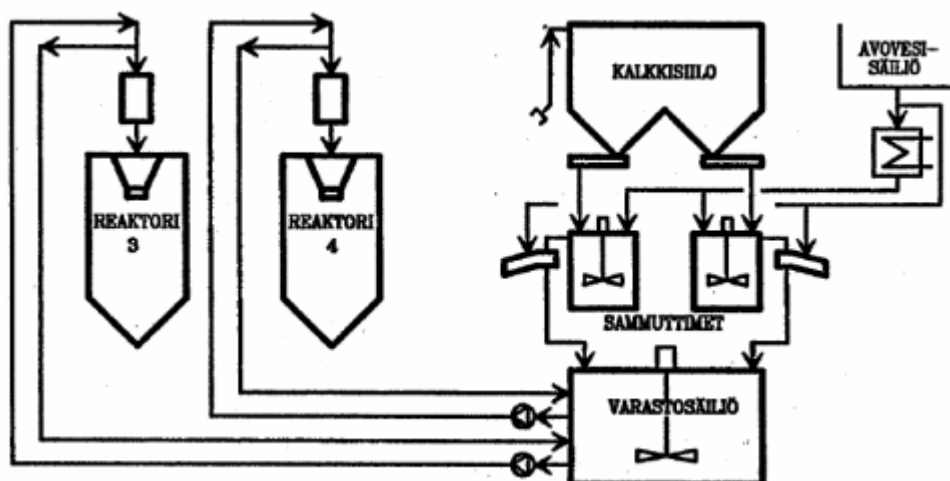
Rikinkoistoprosessille määritetyt prosessi- ja kulutustakuut on annettu takuuhii-
lille, jonka rikkipitoisuus saapumistilassa on 1,2 %. Järjestelmät on mitoitetu mitoitushii-
lellä täydelle kapasiteetille molemmilla kattiloilla, jolloin höyryteho on 440 t/h. Toi-
sen kattilan ollessa pysähdyksissä ja toisen ollessa käynnissä, jolloin höyryteho on 220
t/h, on määritetty minimitoimintapiste. Takuu- ja mitoitushii-
lien ominaisuudet on koottu
taulukoon 2.2. (Fläkt 1991)

Taulukko 2.2. Hanasaaren takuu- ja mitoitushii-
lien ominaisuudet.

Polttoaine ja toimintapiste		Takuuhii- li	Mitoitushii- li 1 (mitoitus)	Mitoitushii- li 2 (minimi)
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	24,5	23,0	24,5
Kosteus, ka	%	8,7	9,0	8,7
Tuhkapitoisuus	%	17,4	20,0	17,4
Rikkipitoisuus	%	1,2	2,0	0,4
Klooripitoisuus	%	0,1	0,4	0,1
Fluoripitoisuus	mg/kg	100	75,0	100,0

Ensimmäisenä savukaasut ohjataan sähkösuodattimeen, jonka tehtävänä on erotella len-
totuhka savukaasusta. Lentotuhkan esierottelu on tärkeää, sillä rikinkoistoprosessiin
pääsevät lentotuhkahiukkaset edistävät laitoksen komponenttien kulumista ja heikentä-
vät rikinkoiston käyttöä. Tämän jälkeen lämpötilassa 130 °C olevat savukaasut
kulkeutuvat kahden rinnakkaisen savukaasupuhaltimen avulla rikinkoistolaitokseen.
Puhaltimet ohjaavat savukaasut erillisiin rikinkoistoreaktoreihin, joissa savukaasuihin
sumutetaan pieninä pisaroina reagoivaa kalsiumhydroksidilietettä. (Fläkt 1991)

Rikinkoistossa käytettävä kalkkiliete valmistetaan kahdessa vaiheessa. Näitä
ovat kalkin sammutus ja lietteen valmistus. Sammuttamaton kalkki (CaO) tuodaan voi-
malaitoksen kalkkisiiloon säiliöautoilla. Poltettu kalkki syötetään sammuttamattomana
kalkkisiilosta annosteluruuvilla ruuvikuljettimelle ja edelleen kahteen rinnakkaiseen
kalkinsammuttimeen. Kalkki sammutetaan vesijohtovedellä kalsiumhydroksidiksi
(Ca(OH)₂), joka sitoo savukaasujen rikkidioksidin kalsiumyhdisteiksi. Kalsiumhydrok-
sidi varastoidaan varastosäiliöön, josta sitä pumpataan säädellisesti reaktoreiden sumutin-
laitteiden yläpuoliseen yläsäiliöön. Säädöllä taataan savukaasun rikkidioksidipitoisuu-
den säilyminen asetusarvossaan rikinkoiston jälkeen. Kalkinkäsittelyn periaate on esitet-
tynä kuvassa 2.3. (Fläkt 1991)



Kuva 2.3. Virtauskaavio kalkinkäsittelylaitteistosta.

Reaktorissa vallitsevat virtausolosuhteet aikaansaavat sen, että sumupisarat ehtivät kuivua pölymäiseksi lopputuotteeksi kulkiessaan reaktorin läpi. Siitä syystä, että osa reaktiosta tapahtuu kuivissa ja osa märissä olosuhteissa, kutsutaan menetelmää puolikuivaksi rikinpoistomenetelmäksi. Savukaasun happamat kaasukomponentit reagoivat reaktorissa kalsiumhydroksidin kanssa. Reagoivia kaasukomponentteja ovat pääasiallisesti kloorivety (HCl), rikkidioksidi (SO_2), rikkitrioksidi (SO_3) ja fluorivety (HF). Komponenttien reaktioyhtälöt kalkin kanssa ovat esitettyinä alapuolella. (Fläkt 1991)

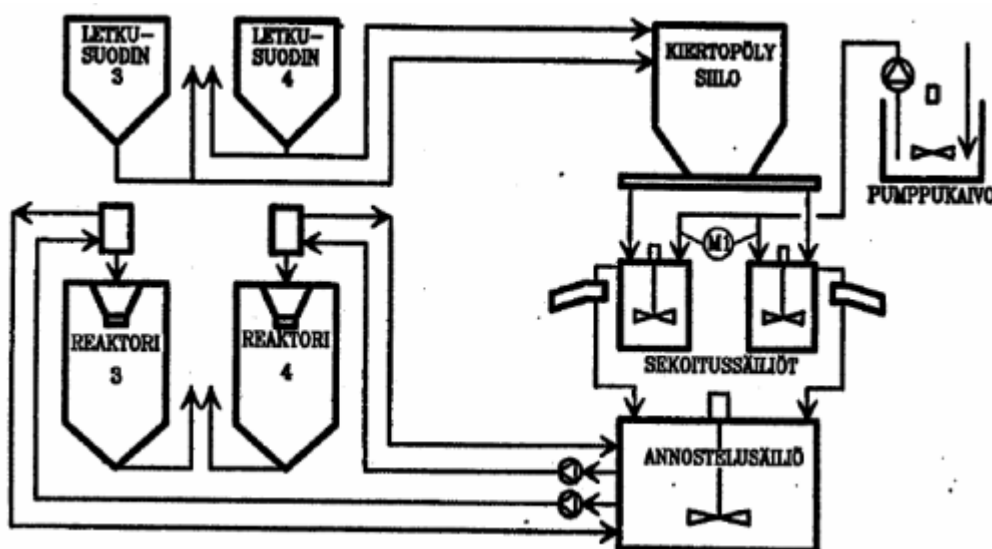


Reaktioista muodostuvasta reaktiotuotepölystä osa tippuu reaktorin pohjalle, mutta suurin osa jatkaa matkaansa savukaasujen mukana jälkipuhdistuksen suorittaviin letkusuodattimiin, missä reaktio jatkuu letkusuodattimen tekstiilipussien pinnalla. Letkusuodatin on jaettu kuuteen erilliseen kammioon, jotka kaikki ovat suljettavissa erotettavissa savukaasutiestä. HaRi:a voidaan käyttää yhden kammion ollessa huollettavana. (Fläkt 1991)

Suodatinletkut ovat varsin suuri investointikustannuserä, jonka vuoksi letkuja suojellaan ylläpötiloilta eri lukitusten avulla. Letkumateriaalin lämpötilakestoisuus on normaalissa käytössä rajoitettu 125 °C :een. Suodatinletkut ovat sijoitettuina niin, että roikkuvat letkusuodattimen suodatinkammion sisällä letkutasosta. Jokaisen letkun sisällä on vielä tukikori pitämässä letkua kuosissaan.

Suodatinletkujen pinnalle kertyvä lopputuote irrotetaan säännöllisesti antamalla pussien sisäpinnoille paineilmapulsseja. Reaktorin pohjalta ja osa letkusuodattimiin kiinni jääneestä lopputuotteesta ohjataan pöylähtetimillä pneumaattisesti kiertopölysiiloon. Sieltä pöly ohjataan kiertopölysiilon alla olevaan sekoitussäiliöön, missä kuiva pölymäinen liete sekoitetaan meriveteen noin 40 % kiintoainepitoisuuteen ja johdetaan täryseulojen kautta annostelusäiliöön. (Fläkt 1991)

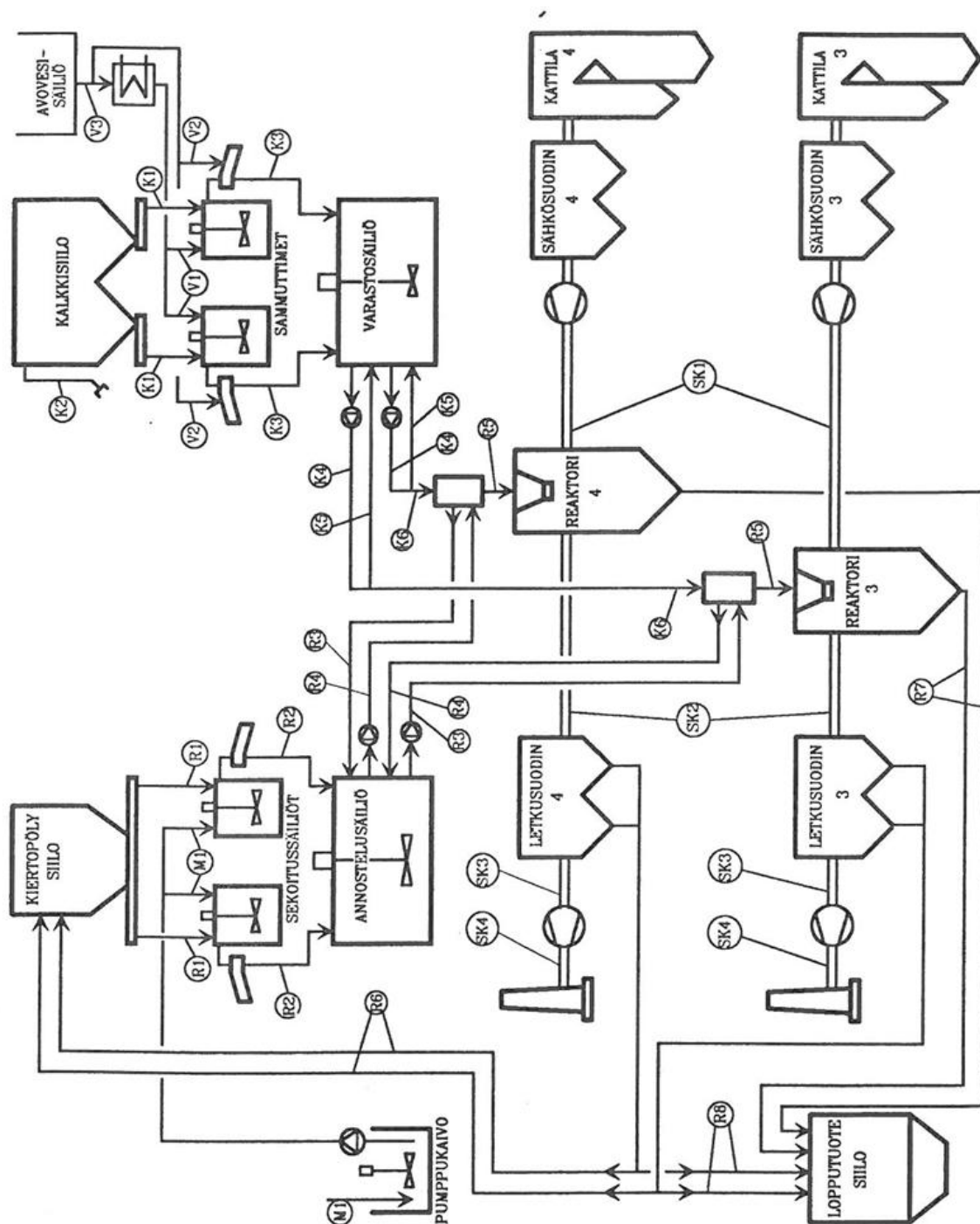
Annostelusäiliöstä kiertopölyliete pumpataan reaktoreiden yläpuolella oleviin yläsäiliöihin. Yläsäiliöihin syötetään myös varastosäiliöstä tuorekalkkia siten, että reaktoriin sumutettavan lietteen aktiivisuus säilyy riittävän korkeana rikin erottamiseksi prosessista. Tuorekalkkimäärän säätely tapahtuu rikinpoistolaitoksen jälkeisen rikkidioksidipitoisuuden perusteella. Kiertopölystä tehdyn lietteen avulla yläsäiliöt pidetään täysinä, joten yläsäiliössä kierrätettävän lietteen osuus pienenee tuorekalkin määrän lisääntyessä. Kuvassa 2.4 on nähtävissä virtauskaavio Hanasaaren kiertopölylaitteistosta. (Fläkt 1991)



Kuva 2.4. Virtauskaavio kiertopölylaitteistosta.

Loput letkusuodattimiin jääneestä lietteestä poistetaan koko prosessista rikinpoiston lopputuotteena. Rikinpoiston tuloksena savukaasun lämpötila laskee noin 70 °C:seen. Puhdistetut savukaasut jatkavat matkaansa letkukorien läpi suodattimen yläkammioon ja sieltä savukaasupuhaltimen aikaansaaman imun avulla poistokanavaan ja savukaasupuhaltimeen. (Fläkt 1991)

Rikinpoistolaitos on myös mahdollista ohittaa täysin eikä ohitus vaikuta kattilan normaaliin käyttöön. Savukaasukanavat on varustettu sulkupellein, joita avaamalla ja sulkemalla voidaan säätää kulkevatko savukaasut puhdistusprosessin läpi. Kuvassa 2.5 on esitettyä Hanasaaren B-voimalaitoksen rikinpoistolaitos. (Fläkt 1991)



Kuva 2.5. Virtauskaavio Hanasaari B-voimalaitoksen rikinpoistolaitoksesta.

Salmisaaren rikinpoistolaitos on B-voimalaitoksen yhteydessä ja kytketty laitokseen siten, että rikinpoistolaitoksen ohittaminen on mahdollista. Rikinpoistolaitos otettiin käyttöön vuonna 1984. Hanasaaren ja Salmisaaren prosessit eroavat toisistaan siinä, että Salmisaassa kalkkiliete hajotetaan savukaasuihin käyttämällä paineilmasuuttimia, kun taas Hanasaari B-voimalaitoksella käytössä on keskipakoisvoimaan perustuva sumutin-

laite. Salmisaaren voimalaitoksen takuu- ja mitoitushiilen ominaisuudet saapumistilassa olevalle hiilelle on esitetty taulukossa 2.3. (Fläkt 1984)

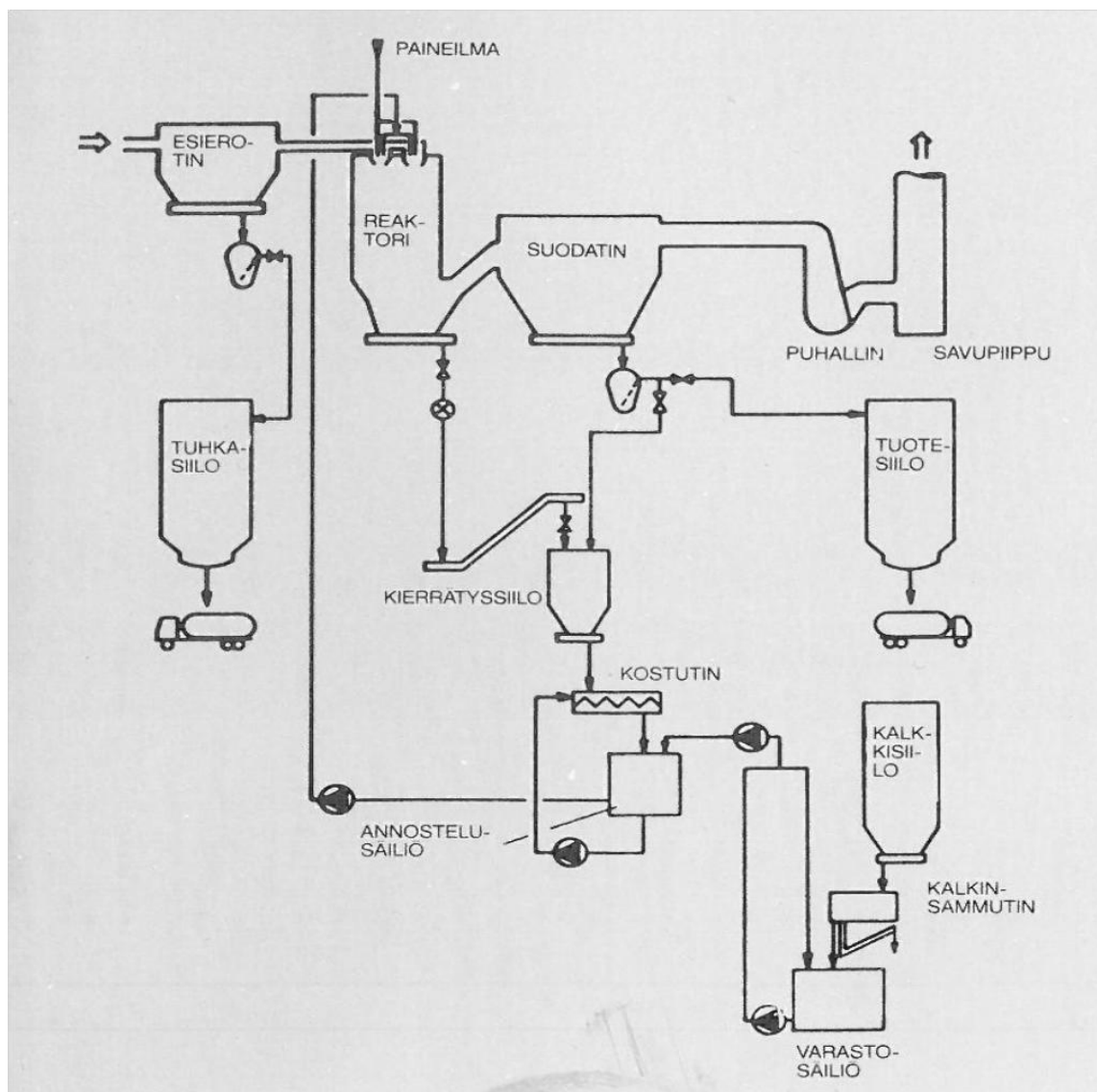
Taulukko 2.3. Salmisaaren takuu- ja mitoitushiilen ominaisuudet.

Polttoaine ja toimintapiste		Takuuhiili	Mitoitushiili 1 (mitoitus)
Tehollinen lämpöarvo	kWh/kg	7,6	6,4
Rikkipitoisuus	%	1,4	1,5
Klooripitoisuus	%	0,3	0,4

Puhdistetut savukaasut menevät lopulta puhaltimien avulla savupiipusta noin 75 °C lämpötilassa ja noin 20–30 g/m³ pölypitoisuudessa. Sähkö- ja letkusuodatin poistavat savukaasuista yli 99,8 % niistä olleista epäpuhtauksista. Vuoden 2014 alusta alkaen Salmisaareissa on käytetty vesijohtovettä kalkin sammuttamiseen, kun taas aiempina vuosina on käytetty merivettä. (Fläkt 1984)

Salmisaaren voimalaitoksen lietteen valmistukseen käytetään samoja komponentteja, kuin Hanasaaressakin. Salmisaaren järjestelmässä ei kuitenkaan ole yläsäiliöitä. Kiertopölysiilon pölyä ohjataan sekoitussäiliöön, jossa seokseen lisätään joko merivettä keräilyaltaasta tai vesijohtovettä sekä veden lisäksi lietettä annostelusäiliöstä. Tällöin muodostuu lietteen perusaines, johon lisätään kalkkimaitoa sen verran, että toivottu rikinpoistoaste saavutetaan. (Fläkt 1984)

Sekoitussäiliössä lietettä sekoitetaan sekoittimella ja seulotaan täryseulalla, minkä jälkeen se johdetaan annostelusäiliöön. Annostelusäiliöstä lietettä kierrätetään kiertopumpulla tarpeen mukaan takaisin sekoitussäiliöön. Valmistettua lietettä pumpataan annostelusäiliöstä rikinpoistolaitoksen reaktorin suuttimiin ruuvipumpuilla ja hajotetaan paineilman avulla sumuksi savukaasuihin. Lietteiden määrää säädellään niin, että kaikki lietteessä mukana oleva vesi haihtuu pois ja suodattimeen menevä savukaasu on kuivaa. Se osa lopputuotteesta, jota ei käytetä lietteiden valmistukseen, kerätään lopputuotesii- loon. Kuvasta 2.4 on nähtävissä Salmisaaren voimalaitoksen rikinpoistolaitoksen periaatekuva. (Fläkt 1984)



Kuva 2.6. Salmisaaren voimalaitoksen rikinpoistolaitos. (Helsingin Energia, Salmisaaren rikinpoistolaitos –esite)

Salmisaaren ja Hanasaaren rikinpoistoprosessit ovat hyvin samankaltaiset. Erona on se, että Hanasaaren savukaasujärjestelmät ovat kattilakohtaiset ja toisistaan erilliset, Salmisaarella puolestaan sekä A- että B-laitosten savukaasut ohjataan yhteiseen savukaasujärjestelmään. SaRi:ssa myös kalkkilietteen annostelu- ja sekoitussäiliö ovat vahvasti yhteydessä toisiinsa. Lietteen homogeenisuuden parantamiseksi lietettä kierrätetään jatkuvasti annostelusäiliöstä sekoitussäiliöön. Tämän ansiosta tuorekalkkipitoisuuden lisääntyminen ei laske lietteen tiheyttä samoin kuin yläsäiliön sisältävässä prosessissa, sillä tuorekalkin mukana tulevaa vettä käytetään sekoitussäiliössä lietteen valmistukseen. (Fläkt 1984)

2.4 Rikinpoistoprosessin taustaa

Rikinpoistoprosessin toimivuutta kuvaa rikinpoiston erotuskyky, joka määritellään reaktoriin tulevan savukaasun sisältämän rikkidioksidin ja rikinpoiston jälkeisen savukaasun sisältämän rikkidioksidin massavirtojen suhteena. Laitoksen rikkidioksidimittarit mitaavat rikkidioksidipitoisuutta tilavuusprosentteina, joten pitoisuudet tulee muuttaa massavirroiksi tilavuusvirtojen suhteessa. Korjaus tehdään lämpötilan, vesipitoisuuden ja O₂-pitoisuuden perusteella. Vesipitoisuudella on suuri merkitys, sillä savukaasumäärä reaktoreissa lisääntyy niihin sumutettavan vesimäärän verran. Alla ovat esitettyinä erotuskyvyn yhtälöt. (Fläkt 1991)

$$n_{kok} = \frac{SO_{2,1} - SO_{2,3}}{SO_{2,1}} \cdot 100 \quad (2.5)$$

$$n_{re} = \frac{SO_{2,1} - SO_{2,2}}{SO_{2,1}} \cdot 100 \quad (2.6)$$

$$n_{ls} = \frac{SO_{2,2} - SO_{2,3}}{SO_{2,2}} \cdot 100 \quad (2.7)$$

$$n_{kok} = n_{re} + \frac{100 - n_{re}}{100} \cdot n_{ls} \quad (2.8)$$

n_{kok} = rikinpoiston kokonaiserotuskyky

n_{re} = reaktorin erotuskyky

n_{ls} = letkusuodattimen erotuskyky

$SO_{2,1}$ = savukaasujen SO₂ massavirta ennen reaktoria

$SO_{2,2}$ = savukaasujen SO₂ massavirta ennen reaktoreita

$SO_{2,3}$ = savukaasujen SO₂ massavirta letkusuodattimen jälkeen

Rikinpoiston käyttötalouden kuvaamisessa voidaan käyttää myös stoikiometriaa eli Ca/S-suhdelukua, jonka kaava on esitettyä alapuolella.

$$Ca/S = M_{Ca} / M_{SO_2} \quad (2.9)$$

Ca/S = kalkki/rikki moolisuhde

M_{Ca} = reaktoriin syötetyn kalkin moolimäärä

M_{SO_2} = reaktoriin tulevan rikkidioksidin moolimäärä

Stoikiometria kuvaa siis reaktoriin syötetyn kalkin moolimäärän suhdetta reaktoriin tulevan rikkidioksidin moolimäärään. Luku voi olla selvästi alle 1,0. Stoikiometrian ollessa yhtä suuri kuin rikin prosentuaalinen erotuskyky, kalkinkäytön hyötysuhde on

100 %. Mitä lähempänä Ca/S-luku siis on rikinpoiston erotuskykyä, sitä paremmin prosessi toimii. (Fläkt 1991)

Jäähdytettäessä savukaasuja lämmönvaihtimen avulla, savukaasuista otetaan lämpöä talteen siten, että savukaasujen vesipitoisuus pysyy samana. Tällöin savukaasujen lämpötila laskee kyllästymispisteeseen, savukaasujen kastepisteeseen, saakka. Puolikuivassa rikinpoistoprosessissa savukaasujen vesipitoisuus kasvaa, sillä savukaasuihin ruiskutetaan vettä. Savukaasuista ei oteta lämpöä talteen vaan se sitoutuu savukaasuihin sumutettavaan veteen sen höyrystyessä. Lämpö sitoutuu veteen latenttina eli sitoutuneena höyrystymislämpönä ja savukaasujen entalpia pysyy vakiona. (Fläkt 1991)

Entalpian pysyessä vakiona jäähtyvät savukaasut säädettyyn reaktorin jälkeiseen lämpötilaan ja sitä vastaavaan suhteelliseen kosteuteen, jonka raja-arvo on normaalisti noin 40 %. Mikäli savukaasujen lämpötila ennen reaktoria nousee, nousee myös reaktorin jälkeinen lämpötila, joka vastaa samaa 40 % suhteellista kosteutta. Reaktorin jälkeistä lämpötilaa on siis nostettava reaktorin tulolämpötilaa mukaillen, mikäli suhteellinen kosteus halutaan säilyttää samana. (Fläkt 1991)

Mikäli savukaasuja jäähdytetään edelleen sumuttamalla niihin vettä, jäähtyvät savukaasut entalpian pysyessä vakiona 100 % suhteelliseen kosteuteen asti. Tätä pistettä kutsutaan märkälämpötilaksi. Jos taas savukaasuja jäähdytetään epäsuorasti esimerkiksi mittaelementtiä jäähdyttämällä, jäähtyvät savukaasut vesisisällön pysyessä vakiona 100 % suhteelliseen kosteuteen, jolloin on saavutettu kastepiste. (Fläkt 1991)

Savukaasujen loppulämpötila on hyvin oleellinen tekijä rikinpoistoprosessin kannalta. Reaktorin jälkeistä loppulämpötilaa laskettaessa lähestytään savukaasujen kastepistettä ja suhteellinen kosteus nousee. Samalla kuitenkin rikinpoistoreaktiot paranevat, jonka ansiosta kalkin kulutus vähenee ja rikinpoiston erotuskyky paranee. Savukaasujen kastepisteeseen vaikuttaa savukaasujen tulolämpötila reaktoriin sekä poltettavan kivihiilen kosteus ja vetypitoisuus. (Fläkt 1991)

Prosessin optimointia ajatellen on ensisijaisen tärkeää huolehtia siitä, että kastepisteen ja reaktorin jälkeisen savukaasun välinen lämpötilaero pysyy vakiona. Lämpötilan ollessa riittävän korkea, on reaktorien pohjalle kertyvä ja edelleen letkusuodattimille menevä pöly riittävän kuivaa ja helposti käsiteltävää. Kiertöpölyn käsiteltävyyden ja laitteiston korroosiokestävyyden kannalta kriittinen arvo savukaasujen suhteelliselle kosteudelle on noin 40 %. Arvoon vaikuttaa paljon lopputuotteen koostumus ja etenkin sen kloridipitoisuus. (Fläkt 1991)

Liian lähellä kastepistettä toimittaessa on suurempi riski siihen, että pölystä tulee liian kostea ja korroosiota tapahtuu helpommin. Mikäli suhteellinen kosteus reaktorissa nousee liikaa, lisääntyy riski siitä, että lietepisararat eivät ehdi kuivua riittävästi ennen niiden osumista reaktorin seinään tai pohjalle. Kosteaa pölyä alkaa tällöin kerrostua reaktorin seinämillä. Pölystä jäävä ylimääräinen kosteus reaktorissa tai letkusuodattimilla aiheuttaa erilaisia käsittelyongelmia. Metalleihin muodostuu myös pistekorroosiota pölyssä olevan kloridin aiheuttamana sitä helpommin mitä enemmän pölyn kosteus kasvaa. Edellä mainittujen seikkojen takia puolikuivan rikinpoistolaitoksen savukaasujen suhteellisen kosteuden tulisi pysyä alle 40 prosentissa. Savukaasujen loppulämpötilaa

täytyy siis nostaa hiilen kloridipitoisuuden kasvaessa, jotta lopputuotteen käsiteltävyys säilyisi riittävän hyvänä. (Fläkt 1991)

Toisaalta hiilen sisältämällä kloridilla on myönteinen vaikutus rikinpoistoprosessiin, sillä lopputuotteeksi muodostuva kalsiumkloridi (CaCl_2) vähentää reagoimattomien kalsiumyhdisteiden osuutta RPT:ssä ja pidentää rikinerotusreaktioiden aikaa märkäfaasissa lisäten lopputuotteen suhteellista kosteutta. Kalsiumkloridi on ominaisuuksiltaan hyvin hygroskooppista, minkä ansiosta rikin sidontareaktiot ovat nopeampia ja tehokkaampia. Näiden seikkojen ansiosta kalkinkäytön talous ja rikinpoiston erotuskyky paranevat. Mikäli prosessissa käytetään merivettä, lisää se osaltaan prosessin kiertolietteen kloridipitoisuutta. Tällöin kloridi kylläkin esiintyy natriumkloridina (NaCl), joka ei ole luonteeltaan yhtä hygroskooppista kuin kalsiumkloridi. (Fläkt 1991)

Kloridin vaikutus on selvästi kalkin kulutusta vähentävä ja samalla prosessin käyttötaloutta parantava, mikäli hiilen rikkipitoisuus kuivasta hiilestä mitattuna on yli 1,0–1,2 %. Poltettaessa hiililaatuja, joilla on suhteellisen korkea kloridipitoisuus sekä alhainen rikkipitoisuus, on tuorekalkin kulutus pieni ja pölyn kloridipitoisuus korkea. Tämän seurauksena pöly kostuu, siitä tulee vaikeasti käsiteltävää ja kalkin kulutus lisääntyy sillä rikinpoiston loppulämpötilan tarvitsee olla korkeampi mitä kosteampaa pöly on. Kalsiumkloridi on jatkokäyttöä ajatellen RPT:n sisältämistä haitta-aineista merkittävin. (Kettunen 2003)

Poltettavan kivihiilen liian suuri klooripitoisuus kasvattaa lopputuotteen klooripitoisuutta ja liian vähäinen klooripitoisuus lisää kalkinkäytön tarvetta. Rikinpoiston lopputuotteen kloridipitoisuus tulee näin ollen rajoittaa alle 5 %. Rajoitus tehdään nostamalla rikinpoistoreaktorin loppulämpötilaa, minkä ansiosta lietepisararat kuivuvat paremmin, lopputuotteen kosteus vähenee ja rikinerotusreaktiot huononevat. Tuorekalkin osuus reaktoriin sumutettavassa lietteessä kasvaa, kun rikinerotusreaktiot heikkenevät. Samalla kloridipitoisen lietteen pitoisuus samoin kuin RPT:n sisältämä kloridipitoisuus pienenevät. RPT:n vapaan alkalien pitoisuus puolestaan kasvaa tällöin. Optimaalinen klooripitoisuus lopputuotteelle on 2–3 %. (Kettunen 2003)

2.5 Laitosten aiheuttama ilmastokuormitus

Huolimatta siitä, että savukaasuja puhdistetaan, päätyy ilmakehään kuitenkin jonkin verran terveydelle ja ympäristölle haitallisia aineita. Voimalaitosten ilmaan johdettavat päästöt sisältävät pääosin savukaasujen typenoksideita, rikkidioksidia, hiilidioksidia ja hiukkasia. Lisäksi ilmapäästöjä aiheutuu polttoöljyn käsittelystä ja varastoinnista.

Hiilidioksidipäästöille ei ole määritelty päästörajaa, kun taas rikki- ja typpioksidi sekä hiukkaspäästöjä valvotaan tarkasti päästöraja-arvojen avulla. Taulukossa 2.4 on esitettyä Hanasaaren voimalaitoksen päästöt ilmaan vuosina 2009–2013. Taulukkoon 2.5 on koottu samalta ajalta Salmisaaren voimalaitoksen päästöt ilmaan. (Helsingin Energia 2009–2013)

Taulukko 2.4. Hanasaaren voimalaitoksen päästöt ilmaan 2009–2013.

(t/a)	2009	2010	2011	2012	2013
CO ₂	850 000	1 050 000	980 000	1 180 000	910 000
SO ₂	900	1 100	1 000	1 400	1 100
NO ₂	1 600	2 000	1 800	2 200	1 700
hiukkaset	70	70	100	80	90

Taulukko 2.5. Salmisaaren voimalaitoksen päästöt ilmaan 2009–2013.

(t/a)	2009	2010	2011	2012	2013
CO ₂	940 000	750 000	650 000	580 000	770 000
SO ₂	900	1 000	800	700	1 100
NO ₂	1 500	1 200	900	800	900
hiukkaset	40	30	20	20	30

2.6 Sivutuotteet

Sekä Hanasaaren että Salmisaaren voimalaitoksilla syntyy polton ja savukaasujen puhdistuksen sivutuotteita. Näitä ovat lentotuhka, pohjatuhka ja rikinpoiston lopputuote. Muodostumismääriin vaikuttaa poltetun kivihiilen määrä ja laatu ja rikinpoiston lopputuotteen muodostumiseen vaikuttaa lisäksi kivihiilen kloridi- ja rikkipitoisuus.

Teknisten ja taloudellisten mahdollisuuksien rajoissa on pyritty hyötykäyttämään sivutuotteita erilaisissa sovelluskohteissa. Hyötykäytön ollessa mahdotonta on sivutuotteet toimitettu kaatopaikkakelpoisuuden ehdot täyttävälle kaatopaikalle. Taulukkoon 2.6 on koottu molempien voimalaitosten tuottamat sivutuotemäärät vuosilta 2009–2013. Luvuissa ei ole mukana rikinpoiston häiriöistä syntynyttä märkää RPT:tä. (Väätäjä 2009–2013)

Taulukko 2.6. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten sivutuotemäärät 2009–2013 ja aikaväliltä 1.1–30.4.2014.

		2009	2010	2011	2012	2013	1.1–30.4.2014
Hanasaari	Pohjatuhka, t (ka)	3 914	5 064	5 593	7 223	6 223	4 108
	Lentotuhka, t (ka)	35 760	43 801	42 305	51 372	43 156	25 361
	RPT, t (ka)	4 258	5 696	6 240	7 232	6 233	3 611
Salmisaari	Pohjatuhka, t (ka)	5 125	5 251	3 891	4 260	5 172	3 972
	Lentotuhka, t (ka)	42 146	39 248	29 075	25 601	37 403	24 474
	RPT, t (ka)	6 204	6 618	4 793	4 972	6 209	3 858

2.6.1 Pohjatuhka

Osa laitoksilla poltettavan hiilen sisältämästä tuhkasta kerääntyy kattilan tulipesän pohjalle pohjatuhkaksi. Pohjatuhka jäädytetään pääsääntöisesti vesijohtovedellä kuonan-sammutusaltaassa ja siirretään lopulta varastoitavaksi Vuosaaressa sijaitsevalle pohjatuhkan välivarastointikentälle. Pohjatuhkaa voidaan myös kuljettaa suoraan voimalaitoksilta hyödynnettäväksi maarakennuskohteissa.

Välivarastoinnin avulla on pystytty tasaamaan kesä- ja talvikausien kysyntävaihteluita. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA-asetus 591/2006) määrittää pohjatuhkan hyötykäyttöön liittyvät vaatimukset ja raja-arvot, jotka Helsingin Energian pohjatuhka täyttää sekä peitetyn että päällystetyn rakenteen tapauksessa. (FINLEX 2014d)

2.6.2 Lentotuhka

Lentotuhka kulkeutuu savukaasujen mukana savukaasukanavaan ja savukaasujen puhdistusprosessiin. Lentotuhka erotellaan savukaasusta sähkösuodattimella ja erottelun jälkeen tuhka varastoidaan tuhksiiloon. Helsingin Energian laitoksilla syntyvä lentotuhka hyötykäytetään rakennustuoteteollisuudessa muun muassa sementin valmistuksessa. Loput tuhkasta viedään kalkkikaivoksen täyttöaineeksi.

Lentotuhka täyttää lähes kaikki MARA-asetuksessa määritellyt päällystetyn rakenteen vaatimukset. Ainoastaan perusmäärittelyssä vaaditun läpivirtaustestin mukainen bariumin liukoinen pitoisuus ei ole sallituissa rajoissa. Laadunvalvonnassa kaksivaiheisella ravistelutestillä bariumin pitoisuus alittuu. Myös asetuksen raja-arvoon nähden bariumin kokonaispitoisuus on riittävän alhainen. (Väätäjä 2013a ja 2013b)

2.6.3 Rikinpoiston lopputuote

Puolikuivan rikinpoistomenetelmän prosessissa syntyvä lopputuote on koostumukseltaan hienoa jauhetta. Siihen on sekoittunut sähkösuodattimen erotuskyvystä riippuen jonkin verran lentotuhkaa. RPT sisältää erilaisia kalsiumyhdisteitä, muun muassa kalsiumkloridia, -karbonaattia, -sulfaattia, -sulfiittia ja -fluoridia.

Rikinpoistolaitoksen lopputuote kuljetetaan loppusijoitukseen kalkkikaivokselle täyttöaineeksi ja sekoitetaan siellä lentotuhkaan. Sekoittamisella saadaan aikaan kaivos-täytössä hyödyllinen lujittuva materiaali. Taulukossa 2.7 on esitettyä Helsingin Energian voimalaitosten RPT:n koostumus painoprosentteina. (Väätäjä 2012)

Taulukko 2.7. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten RPT:n pääkomponentit painoprosentteina.

Ainesosa	Hanasaari	Salmisaari
Kalsiumsulfaatti (CaSO ₄)	5,5–8	4–8
Kalsiumsulfiitti (CaSO ₃)	45–65	50–60
Kalsiumhydroksidi (Ca(OH) ₂)	1–3	1–5
Kalsiumkloridi (CaCl ₂)	5–10	8–11
Kalsiumkarbonaatti (CaCO ₃)	12–15	20–25

3 TOIMINNAN LAINSÄÄDÄNNÖLLISET VAATIMUKSET

Lainsäädäntö asettaa omat vaatimuksensa voimalaitosten toiminnalle ja rikinpoistoprosessille. Ympäristönsuojelu-, jäte- ja jäteverolain lisäksi rakennustuoteasetus sekä valtioneuvoston asetukset kaatopaikoista ja eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa asettavat viitekehyksen, jonka puitteissa rikinpoistoprosessin on toimittava. Tulevaisuudessa voimaan tulevat tiukentuvat vaatimukset ovat asettaneet paineita prosessin toiminnan parantamiseksi.

Tässä kappaleessa esitellään nämä lait ja asetukset, jotka tulee ottaa huomioon Helsingin Energian kivihiilivoimalaitosten tulevaisuutta suunniteltaessa. Lopussa käydään vielä läpi rikinpoiston lopputuotteen ja lentotuhkan seoksen kaatopaikkasijoittamisen tutkimisessa käytettävä kaksivaiheinen ravistelutesti ja sen tulokset. Testin tulosten perusteella määräytyy seoksen kelpoisuus kaatopaikkasijoitukseen.

3.1 Ympäristönsuojelulaki

Uusi ympäristönsuojelulaki (527/2014) tulee voimaan 1.9.2014. Ympäristönsuojelulaki velvoittaa toiminnanharjoittajaa olemaan selvillä toimintansa aiheuttamista ympäristöriskeistä, ympäristövaikutuksista ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa yksi pääperiaatteista on parhaan käyttökelpoisen tekniikan käyttäminen. Helsingin Energialla on oltava toiminnalleen ympäristölupa, joka on oltava ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavassa toiminnassa. Ympäristölupa tarvitaan, mikäli jätelain soveltamisalaan kuuluvaa jätettä käsitellään laitos- tai ammattimaisesti. Tässä tapauksessa siis Helsingin Energian voimalaitosten sivutuotteiden kaatopaikalle vienti ja maarakennuskäyttö kuuluvat ympäristöluvan alaisuuteen. (FINLEX 2014e)

Ympäristönsuojelulain uudistamisen tarkoituksena oli saada teollisuuspäästödirektiivi tuotua osaksi kansallista lainsäädäntöä. Tavoitteena oli myös saada tehostettua ympäristönsuojelun lupamenettelyä. Samalla yhdenmukaistetaan parhaan käyttökelpoisen tekniikan vaatimuksia ympäristön tilan turvaamiseksi. (Ympäristöministeriö 2014b)

Ympäristönsuojelulain nojalla säädetty valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 MW polttolaitosten päästöjen rajoittamisesta (96/2013) määrittää energiantuotantoyksiköiden rikki- ja typenoksidien, hiilimonoksidin ja hiukkasten päästöarajat. Valtioneuvosto on myös päättänyt kansallisesta siirtymäsuunnitelmakaudesta aikavälillä 1.1.2016–30.6.2020, joka vapauttaa voimalaitokset päätöksen voimas-

saoloajaksi IE-direktiivin päästörajojen noudattamisesta. Taulukkoon 3.1 on koottu Hanasaaren ja Salmisaaren kattiloiden päästöraja-arvot siirtymäkaudelle. (FINLEX 2014e)

Taulukko 3.1. Hanasaaren ja Salmisaaren kiinteän polttoaineen kattiloiden päästöraja-arvot siirtymäkauden aikana.

Polttolaitos	SO ₂ , mg/m ³ n	NO ₂ , mg/m ³ n	hiukkaset, mg/m ³ n
Hanasaari B kattilat K3, K4 ja K8	400	500	50
Salmisaari B kattilat K1 ja K7	400	500	50

3.2 Jätelaki

Jätelakia (646/2011) sovelletaan jätteeseen, roskaantumiseen, jätehuoltoon sekä toimintaan ja tuotteisiin, joista syntyy jätettä. Jätelaissa jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, joka on poistettu tai aiotaan poistaa käytöstä tai on velvollisuus poistaa käytöstä. Tähän nojaten kivihiilivoimalaitosten tuottama RPT ja tuhkat luokitellaan jätteeksi. Helsingin Energia on näiden sivutuotteiden osalta jätteen tuottaja, sillä yrityksen omistamien voimalaitosten toiminnassa syntyy jätettä. Jätelaki velvoittaa Helsingin Energiaa huolehtimaan mahdollisimman hyvin siitä, ettei jätteestä aiheudu haittaa tai vaaraa terveydelle tai ympäristölle, vaikeutta jätehuollon järjestämiselle ja että jätettä syntyisi toiminnan tuloksena niin vähän kuin mahdollista (FINLEX 2014a)

Jätelaissa määritelty jätteen hyödyntäminen kattaa toiminnan, jonka tarkoituksena on ottaa käyttöön tai talteen jätteen sisältämä energia tai aine. Näin ollen lentotuhkan ja RPT:n käyttö maarakentamisessa luokitellaan hyödyntämiseksi. Jätteen käsittelyllä tarkoitetaan toimintaa, jonka tarkoitus on tehdä jätteestä vaaratonta tai loppusijoittaa se johonkin kohteeseen. Helsingin Energian käytäntö sijoittaa lentotuhka ja RPT kaivokseen lasketaan siis jätteen käsittelyksi. (FINLEX 2014a)

Jätelain määritelmän mukaisesti aine ei ole jätettä vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen. Lisäksi aineen tulee syntyä tuotantoprosessin olennaisena osana. Jätelaissa on myös määritelty se, milloin jäte ei ole enää jätettä. Jos esimerkiksi tuhkat täyttäsivät toisen edellä mainituista määritelmistä, tuhkat eivät enää olisi jätettä tai sivutuotteenä olisivat suoraan tuotetta. (FINLEX 2014a)

3.3 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista

Valtioneuvoston kaatopaikka-asetuksella (331/2013) rajoitetaan orgaanisen yhdyskuntajätteen, rakennus- ja purkujätteen sekä muun jätteen sijoittamista kaatopaikalle ja kyseessä olevan kaltaisen jätteen hyödyntämistä maantäytössä. Asetuksen tavoitteena on

vähentää kaatopaikkojen vesistökuormitusta ja jätteistä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Myös luonnonvarojen käyttö säästeliäästi on yksi asia, jota asetuksella pyritään edistämään. (FINLEX 2014c)

Kaatopaikkasijoitettavan jätteen on asetuksen mukaisesti täytettävä kulloisenkin luokan mukaiselle kaatopaikalle säädetyt kelpoisuusvaatimukset. Helsingin Energian energiantuotannossa syntyvä lentotuhka ja RPT ja niistä muodostettava LT/RPT-seos kuuluu asetuksen alaisuuteen. Seosta sijoitettaessa tavanomaisen epäorgaanisen jätteen kaatopaikalle tulee sen saavuttaa asetuksen mukaiset vaatimukset, joita on käsitelty kappaleessa 2.7.3. (FINLEX 2014c)

3.4 Jäteverolaki

Vuoden 2011 alussa voimaan tullut jäteverolaki (1126/2010) määrää, että kaatopaikoille toimitettavasta jätteestä on suoritettava valtiolle veroa. Jätteellä, jätteen hyödyntämisellä ja käsittelyllä tarkoitetaan jäteverolaissa samaa kuin jätelaissa. Jäteveron piirissä on jätteen lopullinen sijoittaminen kaatopaikalle joko maan päälle tai maahan. (FINLEX 2014b)

Sekä jäteverolaki että jätelaki velvoittavat ja kannustavat jätteen vähentämistoimenpiteisiin. Helsingin Energia maksaa sijoittamastaan lentotuhkasta ja RPT:sta veroa 50 euroa tonnilta. Tästä aiheutuvat korkeat kustannukset ovat yksi syy siihen, miksi Helsingin Energia haluaisi parantaa RPT:n laatua. Toiveena olisi, että RPT:tä voitaisiin hyödyntää nykyistä tehokkaammin ja siten vähentää kaatopaikalle vietävän jätteen määrää.

3.5 Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (MARA)

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006) tunnetaan myös nimellä MARA-asetus. Asetus edistää jätteiden hyödyntämistä määrittelemällä edellytykset, joiden täytyessä ei tarvita ympäristönsuojelulain mukaista ympäristölupaa asetuksessa tarkoitettujen jätteiden käyttöön maarakentamisessa. Jätteen hyödyntämiseen liittyy vaatimuksia, joita yrityksen on noudatettava, mikäli se haluaa hyödyntää toiminnassaan syntyviä jätteitä maarakentamisessa. (FINLEX 2014d)

Näihin vaatimuksiin kuuluu, että jätteen haitallisten aineiden pitoisuus ja liukoisuus eivät saa ylittää säädettyjä raja-arvoja. Teknisten ominaisuuksien parantamista tavoiteltaessa jätteitä saatetaan toisinaan sekoittaa keskenään tai lisätä jätteeseen kalkkia tai muita sideaineita. Tällöin haitallisten aineiden liukeneminen tai muut haitalliset päästöt jätteestä eivät saisi sekoittamisen seurauksena lisääntyä. (FINLEX 2014d)

3.6 Rakennustuoteasetus

Rakennustuoteasetus (EU N:o 305/2011) sisältää vaatimuksen siitä, että rakennuskohde suunnitellaan ja toteutetaan niin, että ihmisille, omaisuudelle tai kotieläimille ei aiheudu vaaraa eikä ympäristöä vahingoiteta. Rakennustuotteella tarkoitetaan tuotejärjestelmää tai tuotetta, joka valmistetaan ja tuodaan markkinoille käytettäväksi pysyvinä osina rakennuskohteissa tai niiden osissa. Rakennuskohde käsittää sekä rakennukset että vesi- ja maarakennuskohteet. (EU 2011)

CE-merkintää käytetään ilmaisemaan tuotteen vaatimustenmukaisuus. CE-merkintä on vaatimustenmukaisuuden arvioinnin näkyvä tulos koko prosessista laajassa merkityksessä. Rakennustuotteille, joille on määritelty harmonisoitu tuotestandardi, tuli CE-merkintä pakolliseksi 1.7.2013. Tämän jälkeen markkinoille ei ole saanut tuoda tuotestandardin soveltamisalaan kuuluvia rakennustuotteita, joilla ei ole CE-merkintää. Helsingin Energian tuhkille CE-merkintä ei ole vielä ollut ajankohtainen. (EU 2011, Ympäristöministeriö 2014a)

3.7 REACH-asetus

REACH-asetus on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 1907/2006, joka tuli voimaan 1.6.2007. Asetuksen nimi tulee sanoista Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals ja asetus koskee kemikaalien rekisteröintiä, lupamenettelyjä, arviointia ja rajoituksia. Asetuksen tärkein tavoite on varmistaa ympäristön- ja terveydensuojelun korkea taso, edistää vaihtoehtojen kehittämistä erilaisten aineiden vaarojen arviointia varten, tehostaa EU:n kemianteollisuuden kilpailukykyä ja lisäksi varmistaa EU:n sisäisillä markkinoilla tavaroiden vapaa liikkuvuus. (REACH-, CLP- ja Biosidi neuvonta 2013)

Asetuksen tavoitteiden toteutumisen apuna käytettäviä keinoja ovat tiettyjen aineiden arviointi, vaarallisimpien aineiden lupamenettely ja kemikaalien rajoitukset sekä aineiden rekisteröinti. Helsingin Energian voimalaitoksilla syntyvä pohjatuhka ja lentotuhka on rekisteröity REACH-asetuksen mukaisesti. REACH-asetus edellyttää teollisuuden yrityksiltä aiempaa enemmän vastuunkantoa ajatellen kemikaalien mahdollisia riskejä ympäristölle ja terveydelle. (REACH-, CLP- ja Biosidi neuvonta 2013)

3.8 RPT:n kaatopaikkakelpoisuus ja hyötykäyttö

Helsingin Energian rikinpoistolaitosten toiminnasta syntyvien lopputuotteiden laatua tarkkaillaan jatkuvasti ja kaatopaikkakelpoisuutta tutkitaan lainsäädännön kaatopaikalle sijoitettavan jätteen edellytykset huomioiden. RPT:n hyötykäyttökohteita on myös etsitty säännöllisesti. Lopputuotteen koostumukseen ja tuotantomäärään vaikuttamalla voidaan kaatopaikalle päätyvää jätteen määrää vähentää ja mahdollisesti löytää tulevaisuudessa hyödyntämiskohteita.

Lentotuhkan ja RPT:n seossuhde on ollut vuoden 2013 syksyn ajokauteen asti 30 % lopputuotetta ja 70 % lentotuhkaa. Syksystä 2013 lähtien sekoitussuhde on ollut 40 % lopputuotetta ja 60 % lentotuhkaa. Lopullinen tavoite sekoitussuhteelle on 50:50.

Salmisaaren ja Hanasaaren seokset täyttävät kaatopaikka-asetuksessa 331/2013 annetut tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuskriteerit orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) pois lukien. TOC:n raja-arvo kaatopaikalle sijoitettavalle tavanomaiselle jätteelle on 5 %. Asetuksissa on kuitenkin sallittu orgaanisen hiilen kokonaismäärän raja-arvon korottaminen siinä tapauksessa, että liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus (DOC) alittaa raja-arvonsa. Taulukosta 2.8 on nähtävissä vuosien 2010–2012 ajalta voimalaitosten LT/RPT-seoksen TOC- ja DOC-pitoisuudet. (Väätäjä 2013c)

Taulukko 2.8. Helsingin Energian voimalaitosten LT/RPT (70:30)-seosten TOC- ja DOC-pitoisuudet.

LT/RPT-seos (70:30)		2010	2011	2012
Hanasaari	TOC, % ka	8,0	6,5	8,0
	DOC mg/kg	0,53	<1	<11
Salmisaari	TOC, % ka	6,1	5,5	6,6
	DOC mg/kg	<1	<1	<10

Hanasaaren ja Salmisaaren LT/RPT-seokset, joiden seossuhde on 70/30, DOC-pitoisuus alittaa selvästi raja-arvon. Raja-arvo on 800 mg/kg ja kuten taulukosta 2.8 voi todeta, ei kummallakaan laitoksella olla lähelläkään tuota rajaa. Tavanomaisen jätteen kaatopaikalle yhdessä kipsipohjaisen jätteen kanssa sijoitettavan tavanomaisen jätteen TOC-raja-arvo on mahdollista kaksinkertaistaa, mikäli jätteen DOC-pitoisuus alittaa raja-arvonsa. (Väätäjä 2013c)

Syksyn 2013 ajokaudelta alkaen loppusijoitettavan LT/RPT-seoksen seossuhde on ollut 60:40. Kiertopölylietteen valmistukseen tarvittava merivesi on osaksi korvattu vesijohtovedellä molemmilla laitoksilla ja Salmisaaren voimalaitoksella on vuoden 2014 alusta lähtien käytetty rikinpoistoprosessissa ensimmäistä kertaa pelkkää vesijohtovettä. Nämä toimenpiteet ovat alentaneet rikinpoistoprosessissa muodostuvan RPT:n kloridipitoisuutta ja RPT:n osuutta seoksessa on pystytty lisäämään. (Väätäjä 2013c)

Rikinpoistoprosessi kuitenkin vaatii kloridia toimiakseen kunnolla, minkä vuoksi kaikkea merivettä ei pystytä korvaamaan vesijohtovedellä, ellei poltettavan hiilen kloriditaso ole riittävän korkea. Lentotuhkan osuuden pienentäminen myös vähentää orgaanisen hiilen kokonaismäärä, koska lentotuhkan sisältämä suuri palamattoman hiilen määrä aiheuttaa korkean TOC-määrän. Näin ollen LT:n osuutta vähentämällä pystytään kaatopaikalle sijoitettavan jätteen kokonaismäärää pienentämään yhdellä neljänneksellä. (Väätäjä 2013c)

Hanasaaren voimalaitoksen 60:40 seoksesta tehtyjen analyysien perusteella TOC-pitoisuus ylittää kipsipohjaisen jätteen ja tavanomaisen jätteen yhteissijoittamiselle asetetun raja-arvon. DOC-pitoisuus puolestaan on selvästi alle sallitun arvon. Salmisaaren LT/RPT-näytteessä ei puolestaan todettu vaaralliselle jätteelle asetettujen raja-arvojen ylityksiä. Taulukossa 2.9 on 2013 syksystä lähtien käytetyn 60:40 seossuhteen

LT/RPT-seoksen arvoja. (Kaatopaikkakelpoisuuslausunto, vastaavuustesti, Hanasaari ja Salmisaari)

Taulukko 2.9. Seossuhteen 60:40 LT/RPT-seoksen arvoja.

LT/RPT-seos (60:40)	Hanasaari	Salmisaari	Tavanomaisen jätteen raja-arvo
TOC, % ka	6,2	3,6	5
DOC mg/kg	14	14	800
Kloridi, mg/kg	7 200	9 700	15000
pH	12,4	12,3	vähintään 6,0

Helsingin Energia on ollut vuosien varrella aktiivisesti mukana tutkimuksissa, joissa on tutkittu mahdollisia RPT:n hyötykäyttökohteita. Tästä huolimatta lopputuotteen hyödyntäminen vuosien 2006–2013 aikana on ollut hyvin vähäistä. RPT:n kloridi- ja sulfaattiliukoisuus ovat suurimmat esteet sopivien hyötykäyttökohteiden etsinnässä.

Rikinpoiston lopputuotteen hyötykäyttöä hankaloittaa myös synty- ja käyttökausien poikkeaminen toisistaan. Lopputuotetta syntyy eniten sähkön ja lämmön kulutuksen ollessa suurimmillaan talvella ja maarakentamisen sesonkiaikaan kesällä vähiten. RPT:n varastointiin käytettävien silojen kapasiteetti ei nykyisellään riitä tasoittamaan sesonkien eroja ja vaikka kapasiteettia kasvatettaisiinkin, ei maanrakennuskäyttö kuitenkaan lisääntyisi merkittävästi sopivien kohteiden puuttuessa.

4 TOIMINTAYMPÄRISTÖN MUUTOKSET JA TUTKIMUSHANKKEET

EU:n säädökset ohjaavat Helsingin kaupungin energiapolitiikkaa ja lähitulevaisuudessa toiminnan puitteet ovat muutosten kohteena. Päästöraja-arvojen tiukennukset ja uusiutuvien polttoaineiden lisääminen energiantuotannossa tuovat haasteita voimalaitosten jokapäiväiseen käyttöön. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset on alun perin rakennettu pelkkää kivihiilen polttoa ajatellen ja rikinpoistolaitosten toiminta optimoitu tavoitteena tietty rikinpoistoaste. Laitosten on kuitenkin sopeuduttava toimimaan tulevien vaatimusten mukaisesti.

4.1 Teollisuuspäästödirektiivi

Euroopan parlamentin ja neuvoston laatima direktiivi 2010/75/EU teollisuuden päästöistä eli IE-direktiivi sisältää vaatimuksia ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä ja vähentämisestä. Direktiivin mukaan polttolaitosten ympäristölupamääräysten tulee perustua parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan. Vaatimukset tulevat voimaan vuodesta 2016 alkaen. Voimaan tullessaan direktiivi kiristää Helsingin Energian kivihiilivoimalaitosten päästörajoja ja näin ollen edellyttää investointien tekemistä. Taulukkoon 4.1 on koottu Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten nykyiset ja tulevat päästörajat. (EU 2010)

Taulukko 4.1. Hanasaaren ja Salmisaaren nykyiset ja tulevat päästörajat.

Polttolaitos		SO ₂	NO ₂	hiukkaset
		mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
Hanasaari	ennen 2016	600	600	50
	2016-2020	400	500	50
	2020→	200	200	20
Salmisaari	ennen 2016	400	500	50
	2016-2020	400	500	50
	2020→	200	200	20

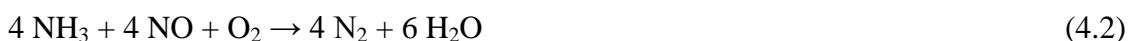
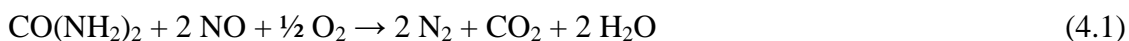
Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten rikinpoistolaitoksilla suoritettavien koeajojaksojen avulla on tarkoitus selvittää onko voimalaitoksilla nykyisellään edellytyksiä lähteä ajamaan tulevien alhaisten rikkidioksidipäästöjen rajoissa. Rikinpoiston tehostamisen lisäksi IE-direktiivin voimaantulo edellyttää investointeja typpipäästöjen vähen-

tämiseksi. Voimalaitosten nykyiset sähkösuodattimet voidaan myös joutua modernisoimaan.

4.1.1 Typenoksidien vähentämismenetelmät

Helsingin Energian voimalaitosten typenoksidipäästöjen vähennystarve juontaa juurensa IE-direktiivistä. Direktiivin astuessa voimaan Hanasaari B- ja Salmisaari B-voimalaitosten NO_x -päästöt saavat olla korkeintaan 200 mg/Nm^3 . Hanasaaren voimalaitoksella on jo käytössä Low- NO_x -etuseinäpolttimet, joilla polttoilmaa vaiheistetaan ja tällä tavoin ali-ilmaisessa palamisessa typenoksidien muodostumiseen ei riitä ilmaa. Helsingin Energia on tutkinut typenoksidipäästöjen vähentämiseksi katalyyttistä pelkistämistä (SCR), urearuiskutusta (SNCR) sekä polttoteknisiä keinoja. Tämän hetken suunnitelmien mukaan Salmisaaren voimalaitoksilla tullaan ottamaan käyttöön SCR-menetelmä ja Hanasaarella SNCR-menetelmä. (Rynö 2013)

SNCR-menetelmä eli selektiivinen ei-katalyyttinen pelkistystekniikka on typenoksidien vähentämistekniikka, jossa ammoniakkivettä tai urealiuosta ruiskutetaan kuumien savukaasujen sekaan. Tekniikalla pystytään poistamaan 30–60 % NO_x -päästöistä. (HelenVoima > 6 Tietopankki > Tekniikka > 2013 > Haldor Topsoe Catalyst presentation) Parhaat tulokset typenoksidien vähentämiseksi saadaan, kun toimintalämpötila on välillä 850 – 1100 °C. Riittävän suuri viipymäaika tällä lämpötilavälillä on edellytys kemikaalin ja typenoksidien sekoittumiselle ja aineiden välisten reaktioiden tapahtumiselle. Urean ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ja ammoniakkiveden (NH_3) reaktiot ovat esitettyinä alla. (Kaulamo 2013)



Kaikki pelkistysreaktioissa syntyvät tuotteet ovat ilmakehässä esiintyviä luonnollisia komponentteja. Optimaalisin lämpötilaikkuna muuttuu riippuen siitä, käytetäänkö pelkistykseen ureaa vai ammoniakkivettä ja myös savukaasun koostumus vaikuttaa lämpötilaikkunaan. Lämpötilan ollessa liian alhainen, vaatii reaktio enemmän aikaa kuin yleensä mahdollista saavuttaa normaalikattiloissa. Tällöin typen oksidien vähennys on mitätön ja reagoimattoman ammoniakkin määrä eli slippi suuri. Liian korkeassa lämpötilassa puolestaan typen oksidien reaktiot heikkenevät eikä haluttua lopputulosta saavuteta. (Kaulamo 2013)

Reagenssin jakelu ja sekoittuminen savukaasuihin tulee olla riittävän hyvää ja lisäksi toivotun lopputuloksen saavuttamiseksi ruiskutettavien reagenssipisaroiden koon tulisi olla sopiva. Liian pienet pisarat höyrystyvät liian nopeasti ja reagenssi voi alkaa reagoida liian korkeissa lämpötiloissa, jolloin NO_x -vähennys ei ole optimaalista. Suuret pisarat puolestaan höyrystyvät liian hitaasti, jolloin lämpötila laskee optimaalisen lämpötilaikkunan alapuolelle. Tällaisessa tilanteessa ammoniakki-slip on suuri ja NO_x -vähennys huono. (Kaulamo 2013)

Valikoivalla katalyyttisellä menetelmällä eli SCR-menetelmällä päästään jopa yli 90 % NO_x-vähennykseen. Menetelmää pidetään tehokkaimpana keinona puhdistaa savukaasuista typen oksidit. SCR-menetelmässä savukaasukanavaan ruiskutetaan pelkistyskemikaalia, joka reagoi katalyytin pinnalla pelkistäen typen oksidit. Pelkistävänä aineena käytetään ureaa tai ammoniakkia joko vesiliuoksena tai ilman vettä. Tapahtuvat reaktiot ovat seuraavanlaiset (Kallio 2009):



Helsingin Energia päätyi investoimaan Salmisaaressa SCR-menetelmään, sillä Salmisaaren voimalaitos jatkaa varmasti toimintaansa vielä vuoden 2020 jälkeenkin. SCR-menetelmä takaa sen, että voimalaitos pääsee varmasti alle 200 mg/Nm³ NO_x-päästörajan. Hanasaaren tulevaisuus on tällä hetkellä epävarma, joten Hanasaareen ei haluta investoida kovin suurilla summilla. SNCR-menetelmä auttaa voimalaitosta selviämään siirtymäkauden 2016–2020 yli. SNCR-tekniikka mahdollistaa pääsyn noin 300 mg/Nm³ päästöarvoihin. Mikäli Vuosaaren päädytään rakentamaan monipolttoainevoimalaitos, valmistuisi se kuitenkin vasta 2020-luvun puolella. Tällä hetkellä on vielä epäselvää, mitä Hanasaaressa tehdään typpipäästöjen suhteen siirtymäkauden loputtua ennen Vuosaaren uuden laitoksen valmistumista.

4.1.2 LCP-BREF

Vuonna 2016 täysimääräisesti voimaan tulevan IE-direktiivin polttolaitoksille vaatima paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) määritellään LCP-BREF:ssä eli suurten polttolaitosten toimialakohtaisissa referenssiasiakirjoissa. Nykyinen LCP-BREF on tullut voimaan vuonna 2006 ja asiakirja on päivityksen alaisena. Uudistuksen on määrä olla valmis vuoden 2014 loppuun menessä.

LCP-BREF sisältää BAT-päätelmien asiakirjan, jossa on sisällytettynä osa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa koskevan vertailuasiakirjasta. Esitettynä ovat siis päätelmät parhaista käytettävissä olevista tekniikoista, niiden kuvaus ja tiedot sovellettavuuden arvioimiseksi, parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan liittyvät päästötasot, tarkkailu ja kulutustasot sekä tarvittaessa laitoksen kunnostustoimet. EU:n jäsenvaltioiden tulee tarvittaessa kannustaa etenkin BAT-vertailuasiakirjoissa määritettyjen uusien tekniikoiden kehittämistä ja soveltamista. (EU 2010)

Direktiivin alaisuuteen kuuluvan voimalaitoksen päästöraja-arvojen, tarkkailun ja muiden lupamääräysten on parhaan käyttökelpoisen tekniikan vaatimuksen toteuttamiseksi perustuttava päätelmiin. Laitoksen ympäristöluvassa on määrättävä päästöille

päästöraja-arvot siten, että päätelmien päästötasoja ei ylitetä laitoksen normaaleissa toimintaolosuhteissa. Jos päätelmissä ei ole ilmoitettu päästötasoja, tulee luvassa antaa tarpeelliset määräykset päätelmissä kuvattua BAT-tekniikkaa vastaavan ympäristönsuojelun tason saavuttamiseksi. (FINLEX 2014e)

4.2 Uusiutuvien polttoaineiden käyttöönotto

Helsingin Energian on tarkoitus aloittaa Salmisaaren voimalaitoksella puupelletin seospoltto syksyllä 2014 ja Hanasaassa syksyllä 2015. Salmisaassa pelletin poltto kivihiilen seassa aloitetaan kivihiilikattilalla K1 ja Hanasaassa kattiloilla K3 ja K4. Yhden voimalaitoksen energiantuotannosta on tarkoitus korvata puupelleteillä 5–7 %. Pelletti tullaan varastoimaan voimalaitosalueilla 1000 m³ vetoisissa siiloissa. (Helsingin Energian Internet-sivut)

Pellettipolton aloituksen perustana on Helsingin kaupungin valtuuston asettama tavoite Helsingin Energialle vähentää hiilidioksidipäästöjä 20 % ja lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä 20 % vuoteen 2020 mennessä. Tällä hetkellä uusiutuvia energialähteitä on käytössä noin 7 % kokonaispaletista. Helsingin Energian Kohti hiilineutraalia tulevaisuutta –kehitysohjelma sisältää selvityssuunnitelman tämän tavoitteen saavuttamiseksi. Selvityksessä tutkitaan kahta vaihtoehtoa, joista molempiin kuuluu energian tuotto jatkossa myös biomassalla. (Helsingin Energian Internet-sivut)

Ensimmäinen vaihtoehto on rakentaa uusi monipolttoainevoimalaitos Vuosaaren ja Salmisaaren voimalaitoksella polttaa pellettiä 10 % osuudella. Hanasaaren voimalaitos lopettaisi tässä vaihtoehdossa toimintansa kokonaan. Toisessa vaihtoehdossa Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksilla jatkettaisiin vuositasona 40 % bio-osuudella energiantuotantoa. Vuosaaren laitosta ei rakennettaisi ollenkaan. Helsingin kaupungin valtuusto tekee vuonna 2015 päätöksen, kumpi vaihtoehtoista toteutetaan. (Helsingin Energian Internet-sivut)

Kehitysohjelman toteutuksen ensimmäinen vaihe on jo käynnissä. Vaihtoehtoja tutkittaessa Hanasaaren voimalaitoksella suoritettiin syksyllä 2012 ja keväällä 2013 pellettikokeita, joissa kotitalouslaatuista puupellettiä poltettiin suorassa seospoltossa hiilen seassa. Polttoaineet sekoituivat hiilenjakajissa ennen niiden ohjaamista myllyille jauhattaviksi. Pellettipolttoaineen lisääminen hiilen polttoon tarkoitettuun kattilaan voi johtaa ongelmiin, joita voidaan minimoida pitämällä pelletin määrä selkeästi hiilen määrää matalampana. (Grönroos 2013)

Kokeissa poltettiin kattilalla K3 neljän eripituisen koeajojakson aikana yhteensä 1 312 tonnia pellettiä ja sitä syötettiin enimmillään 7 % kattilan polttoainetehosta. Käytetty pelletti oli kotitalouspellettiä, jonka raaka-aine oli suomalainen havupuu. Pelletin tuhkapitoisuus oli 0,3 %. Kattilalla K3 muodostuneen bioperäisen tuhkan keskimääräinen osuus koeajojaksojen aikana muodostuneesta kokonaistuhkamäärästä oli alle 0,3 %. Otettaessa huomioon kattilalla K4 samanaikaisesti pelkistä kivihiilen poltosta syntynyt tuhkamäärä, oli puuperäisen polttoaineen polttamisesta muodostuvan tuhkan osuus mi-

tättömän pieni. Näin ollen pelletin seospolttokokeilu ei vaikuttanut LT/RTP-seoksen loppusijoitukseen. (Grönroos 2013)

Rajoittavin tekijä pelletin käytölle on sen sitkeys ja kuitumaisuus verrattuna kivihiileen. Tämä vaikeuttaa pelletin jauhamista poltettavaksi pölyksi. Pienillä bio-osuuksilla tämä ei kuitenkaan aiheuta ylitsepääsemättömiä ongelmia ja pellettikokeiden perusteella todettiin, että pelletin poltto hiilipölykattiloissa 5–7 % osuudella hiilen seassa onnistuu ilman suurempia vaikeuksia. (Grönroos 2013)

Kehitysohjelman toteutuksen ensimmäiseen vaiheeseen kuuluu myös jatkuva pelletin polton aloittaminen Hanasaaren ja Salmisaaren laitoksilla vuonna 2014. Toisessa vaiheessa toteutetaan toinen tutkituista vaihtoehtoista. Kehitysohjelmaa toteutettaessa on siis kaksi vaihetta ja toiseen vaiheeseen on kaksi toteutusvaihtoehtoa, jotka selviävät ensimmäisen vaiheen perusteella.

4.3 Sivutuotteiden tutkimushankkeet

Tällä hetkellä Helsingin Energia on osallisena muutamassa sivutuotteisiin liittyvissä tutkimushankkeissa. Näistä yksi on TUULI-hanke, jonka tavoitteena on vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä, alentaa kaatopaikoille päätyvän tuhkan määrää sekä kehittää uusia tapoja käsitellä tuhkia ja kuonaa lisäämällä eritoten tuhkan laadun hallittavuutta. Hankkeen koordinoijana toimii Ekokem Palvelu Oy. (Väätäjä 2013a)

TUULI-hankkeella on rinnakkaishanke, GEOPO-hanke, jota koordinoi Oulun yliopisto. GEOPO-hankkeen päätavoite on menetelmien kehittäminen raskasmetallipitoisten kuona- ja tuhkakajakeiden stabiloimiseen liukenemattomaan muotoon synteettiseen alumiinisilikaattirakenteeseen. Hankkeessa on tarkoitus kehittää erilaisia kapselointimenetelmiä sekä arvioida aikaan saatujen tuotteiden laatua ympäristöllisestä ja teknisestä näkökulmasta. Yhdessä nämä kaksi hanketta muodostavat hankekokonaisuuden ja molemmilla hankkeilla on Tekes-rahoitus sekä mukana laajalti yritys- ja tutkimustahoja. Hankkeet käynnistyivät lokakuussa 2012 ja ne on tarkoitus saada päätökseen vuoden 2015 maaliskuun loppuun mennessä. (Väätäjä 2013a)

Uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa –hanke vuosilta 2006–2010 eli UUMA-hankkeen jatko-osa UUMA2-hanke on myös tutkimus, jossa Helsingin Energia on osallisena. Hankkeessa on tavoitteena saada hyötykäyttöön huonolaatuisia maa-aineksia ja teollisuuden sivutuotteita. Tarkoitus olisi, että hyödyntämistapa olisi ekotehokas ja sellainen, että kaikki osapuolet hyötyisivät siitä. (UUMA2-hankkeen internet-sivut)

Edellä mainittujen hankkeiden lisäksi Helsingin Energialla on monia yhteistyöhankkeita Helsingin kaupungin hallintokuntien ja muiden tahojen kanssa, joissa selvitetään sivutuotteiden hyödyntämismahdollisuuksia. Tutkittavana ovat muun muassa sivutuotteiden käyttö ylijäämämaiden käsittelyssä ja savimaiden stabiloinnissa. (Väätäjä 2013a)

5 RIKINPOISTOLAITOKSEN TALOUS JA TOIMINNASTA AIHEUTUVAT KUSTANNUKSET

Hanasaaren ja Salmisaaren rikinpoistolaitosten käytöstä aiheutuu kokonaisuudessaan merkittävän suuret kustannukset Helsingin Energialle. Toiminnan kustannuksiin vaikuttavat poltettava kivihiili, rikinpoiston loppulämpötila, kalkkiliete, tuotettava paineilma sekä prosessissa käytettävä vesi. Tässä kappaleessa käydään läpi näitä rikinpoistolaitoksen talouteen vaikuttavia tekijöitä.

5.1 Kalkin käyttö

Rikinpoistossa käytettävän kalkin kulutus on tärkein yksittäinen rikinpoistolaitoksen käyttökustannustekijä. Kalkinkulutukseen vaikuttaa kalsiumhydroksidin reaktiivisuus, jonka puolestaan määrittää sammutuslämpötila. Onkin huolehdittava, että sammutuslämpötila pysyy sammuttimissa riittävän korkeana. (Fläkt 1991)

Myös poltettavan kivihiilen rikkipitoisuus ja rikkidioksidin päästötaso vaikuttavat tuorekalkin kulutuksen. Tyypillinen ilmiö puolikuiville rikinpoistomenetelmille on se, että savukaasuista erotettavan SO_2 -määrän lisääntyessä kalkinkäytön hyötysuhde huononee. Kalkin kulutus suhteessa erotettavaan rikkidioksidimäärään siis kasvaa. Tämän myötä prosessin taloudellisuus huononee ja lopputuotteeseen päätyvän vapaan alkalin määrä suurenee.

Sammuttamatonta kalkkia käytetään absorptioaineena sen takia, että se on edullisempaa kuin sammutettu kalkki. Olisi mahdollista käyttää myös sammutettua kalkkia, mutta se nostaisi raaka-ainekustannuksia. Sammutettaessa kalkki rikinpoistolaitoksella juuri ennen sen suihkuttamista reaktoreihin saadaan myös se hyöty, että kalkin reaktiivisuus kasvaa. (Fläkt 1991)

Molempien voimalaitosten rikinpoistolaitoksilla kerätään letkusuodattimiin kertyvä lopputuote talteen ja syötetään takaisin reaktoriin, sillä se sisältää vielä paljon reagoimatonta kalkkia. Tällä kierrätyksellä parannetaan kalkinkäytön hyötysuhdetta ja sitä kautta koko laitteiston taloutta. Yleisesti rikinpoistoprosessia ajetaan niin, että kierrätettävän lietteen määrä pyritään maksimoimaan ja tuoretta kalsiumhydroksidia syötetään lisänä vain sen verran, että vaadittu rikinpoistoaste tavoitetaan. (Fläkt 1991)

5.2 Hiili

Rikinkoiston lopputuotteen laatuun ja tuotantomäärään vaikuttaa paljolti poltettavan kivihiilen ominaisuudet. Laitoksilla käytettävä kivihiili tulee suurimmaksi osin Venäjältä. Pienempiä määriä hiiltä tulee myös Puolasta ja Kazakstanista.

Hiilen maailmanmarkkinahinnat vaikuttavat melko suoraan ostettavan hiilen hintaan. Ostohinnan lisäksi energiantuotannossa lisäkustannuksia tulee erilaisista veroista ja päästökaupan maksusta. Nämä vaihtelevat vielä sen mukaan käytetäänkö hiiltä sähkön- vai lämmöntuotannossa. Ostettavan hiilen hinta on suorassa yhteydessä hiilen sisältämään lämpöarvoon. Jokaiselle hiilierälle on myös määritelty hiilen tärkeimmät ominaisuudet, mutta niillä ei kuitenkaan ole vaikutusta hiilen hintaan.

5.3 Paineilman tuotto

Rikinkoistoprosessissa tarvitaan paineilmaa, jonka tuottamiseen tarvitaan energiaa. Hanasaaren voimalaitoksella paineilman tuottamiseen käytetään turboruuvikompressoria ja Salmisaaressa tavallisia ruuvikompressoreita. Laitoksilla suoritettavat koeajojaksot ovat lisänneet letkusuodattimille kertyvää pölymäärää, joten samalla on myös lisääntynyt letkujen puhdistukseen käytettävää paineilmapulssimäärää. Salmisaaressa myös poistettavan rikkimäärän kasvu on lisännyt reaktoreissa paineilman avulla ruiskutettavan lietteen määrää.

Hanasaassa paineilman tuottokustannukset eivät ole nousseet yhtä paljon kuin Salmisaaressa erilaisen lietteensyöttötavan ja paineilman tuottamiseen käytettävän turboruuvikompressorin ansiosta. Vuonna 2014 on voimalaitosten paineilman kulutus kasvanut noin 30 m³/min vuoden 2013 ensimmäiseen vuosineljännekseen verrattuna. Tällä hetkellä ei ole tietoa paineilman tuottamistapaan mahdollisesti tehtävistä parannuksista, joten kasvaneet kustannukset on vain hyväksyttävä. (Liiman 2014)

5.4 Sivutuotteiden kuljetus- ja käsittelykustannukset

Rikinkoistolaitoksen toiminnasta aiheutuvat jätteiden kuljetuskustannukset muodostavat suuren osan kustannuspaletista. Syntyvät sivutuotteet kuljetetaan laitoksilta kuorma-autoilla loppusijoituskohteisiin. Helsingin Energialla on sopimus rikinkoistossa tarvittavasta käytetystä kalkista nykyisen kalkin toimittajan kanssa. Hankintasopimuksen mukaan kalkin toimittaja toimittaa Helsingin Energian ostaman kalkin laitoksille ja tarvittaessa ottaa kuljetettavaksi lopputuotetta kaivokselle. Kuljetuksien hintaan siis vaikuttaa merkittävästi se, ovatko kuljetukset paluu- vai erilliskuljetuksia. Siitä syystä, että RPT:lle ei ole hyötykäyttökohteita, on suuri osa kuljetuksista erilliskuljetuksia. RPT:tä syntyy paljon enemmän kuin kalkkia tuodaan voimalaitoksille.

Helsingin Energialla on myös yhteistyösopimus toisen yrityksen kanssa sivutuotteiden hyötykäytöstä. Yritys pyrkii hyötykäyttämään kaiken vastaanottamansa lentotuhkan maksimaalisesti. Kaatopaikkasijoitettavista jätteistä maksettava jätevero muodostaa toisen suuren kustannuserän Helsingin Energialle. Jos kaatopaikalle sijoitettavan

jätteen määrää pystyttäisiin vähentämään, pienenisivät sekä jäteveromaksut että kuljetuksista syntyvät kustannukset.

5.5 Prosessivesi

Hanasaaren voimalaitoksen rikinpoistolaitoksella käytetään sekä ilmaista merivettä että vesijohtovettä. Salmisaaren rikinpoistolaitoksella on vuoden 2014 alusta alkaen siirrytty käyttämään pelkkää vesijohtovettä. Vesijohtovettä otetaan Helsingin seudun ympäristöpalvelulta (HSY).

Käsittelemätöntä vesijohtovettä käytetään rikinpoistolaitoksella sammutetun kalkin valmistuksessa, talousvetenä erilaisissa kohteissa sekä kuonansammutuksessa. Kiertopölystä tehtävän lietteen valmistukseen käytetään Hanasaarella vesijohtoveden rinnalla merivettä, mikä on vesijohtovettä edullisempi vaihtoehto. Salmisaarella prosessin toimivuuden kannalta on siirrytty vesijohtoveden käyttöön.

HSY ylläpitää viemäriverkostoa, johon saniteetti-, talous- ja teollisuusjätevesiä johdetaan. Johdettavia teollisuusjätevesiä on pieni määrä ja ne muodostuvat erilaisista tyhjennys- ja vuotovesistä. Viemäriverkosto johtaa vedet lopulta Viikinmäen kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Prosessin edullisuutta ajatellen käytettävän vesijohtoveden määrä tulisi minimoida. Taulukkoon 5.3 on koottu Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksilla vuosina 2009–2013 käytetyn veden kulutus. (Helsingin Energia 2009–2013)

Taulukko 5.3. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten veden kulutus vuosilta 2009–2013.

Raakaveden kulutus (1000*m ³ /a)		2009	2010	2011	2012	2013
Hanasaari	HSY	90	140	180	210	190
	Merivesi	8 400	10 000	9 600	11 300	8 200
	Yhteensä	8 490	10 140	9 780	11 510	8 390
Salmisaari	HSY	160	90	240	140	180
	Merivesi	2 100	3 600	4 600	2 800	910
	Yhteensä	2 260	3 690	4 840	2 940	1 090

6 RIKINPOISTOLAITOSTEN KOEAJOKSOT

Salmisaaren rikinpoistolaitoksella suoritettiin keväällä 2011 ensimmäisen kerran koeajojakso, joka pidettiin kahdessa osassa. Ensimmäisen osan tarkoituksena oli selvittää alin mahdollinen raja-arvo rikkipäästöille sekä mahdolliset rajoittavat tekijät päästöjen alentamiseksi. Kokeiden lähtökohtana pidettiin vuonna 2016 voimaan tulevaa rikkipäästöjen uutta rajaa, 200 mg/Nm^3 . Pyrkimyksenä oli pitää rikkidioksidipäästöt arvossa 150 mg/Nm^3 koko koeajojakson ajan.

Toisen koeajojakson aikana etsittiin rikinpoistolaitoksen raja-arvoa, jolla erotuskyky olisi mahdollisimman suuri, mutta kalkki ei vielä tuki laitteistoja. Puhdas kalkki on hyvin liukasta ja luistaa helposti järjestelmän ruuveilla. Myös säiliöihin ja putkistoihin syntyy helposti kalkkikerrostumia ja tämä huonontaa rikinpoistolaitoksen hyötysuhdetta.

Kokeen aikana kattilan teho heilahteli melko paljon, mikä on yleistä keväisin. Lisäksi kiertopölysiilon ruuvit eivät toimineet kunnolla ja aiheuttivat ongelmia prosessiin. Tästä huolimatta koeajojaksojen päätyttyä todettiin, että Salmisaarella pelkällä kattilalla K1 ajettaessa ei ole ongelmallista alittaa 200 mg/Nm^3 rikkipäästöarvoa. Kattila K7 ei ollut pitkiä aikoja päällä ja tämä helpotti rikinpoistoprosessia.

Talven 2014 aikana Helsingin Energian voimalaitoksilla suoritettiin uudestaan rikinpoistolaitoksen koeajojaksoja. Koeajot poikkesivat hieman toisistaan Salmisaarella ja Hanasaarella, mutta molemmilla laitoksilla tutkittiin yhdellä kattilalla kuinka prosessi toimii tulevien alempien rikkipäästörajojen puitteissa. Tarkoituksena oli selvittää onko rajan saavuttaminen mahdollista pitkällä aikavälillä. Mikäli havaittaisiin ongelmia, tarvitsisi nykyisillä rikinpoistolaitoksilla todennäköisesti tehdä joitain muutoksia. Näitä ovat esimerkiksi kattilan tehon alentaminen tai muutokset prosessilaitteistoon. Mikäli rajan alitus onnistuisi ongelmitta, ei tehon rajoitusta tai investointeja jouduttaisi tekemään.

Hanasaaren toisella kattilalla tehtiin myös pellettikokeita, jossa hiilen seassa poltettiin puupellettiä. Pellettikokeissa laitosta ajettiin nykyisten päästörajojen puitteissa. Seuraavassa ovat eriteltyinä koeajojaksojen tulokset.

6.1 Hanasaaren koeajot

Hanasaaren voimalaitoksen kattiloilla järjestettiin koeajojaksot vuoden 2014 helmikuun lopulta maaliskuun lopulle. Kattilalla K3 poltettiin hiilen seassa vaihtelevalla prosentiosuudella pellettiä ja rikinpoistolaitosta ajettiin nykyisten raja-arvojen mukaisesti. Kattilalla K4 poltettiin pelkkää hiiltä ja ajettiin rikinpoistolaitosta tulevan rikkidioksidipäästöraja-arvon mukaisesti. Kattilan K4 koeajojakson pituus oli neljä viikkoa. Hanasaaren

voimalaitoksen tämän hetkinen rikkidioksidipäästöaraja on 600 mg/Nm^3 , joka tulevaisuudessa alenee arvoon 200 mg/Nm^3 . Pölypäästön vuorokausiraja tulee tulevaisuudessa olemaan 20 mg/Nm^3 . Koeajojaksojen aikana Hanasaaren rikinpoistolaitoksen päiväkoh-
taiset tulokset löytyvät taulukoituna liitteistä 1–4.

Kattilalla K3 poltettiin maaliskuun huhtikuun aikana hiilen seassa höyry-, teollisuus- ja paahtopellettiä syöttämällä sitä joko yhdelle myllylle tai kahdelle samanaikaisesti vaihtelevilla prosenttiosuuksilla. Maaliskuun lopulla poltettiin paahto- ja teollisuuspel-
lettiä osana MMEA-projektin kokeita, jolloin prosenttiosuudet kattilan koko tehosta vaihtelivat välillä 2,0–11,8 %. Taulukoihin 6.1 ja 6.2 on koottu pellettikokeiden toteu-
tuneen suunnitelman tietoja.

Taulukko 6.1. Blokin 3 pellettikokeiden toteutunut suunnitelma maaliskuulta 2014.

Päivämäärä	4–5.3.2014	11–13.3.2014	20–21.3.2014	25–26.3.2014
Pellettilaatu	höyry	höyry	paahto (MMEA)	teollisuus (MMEA)
Pellettiä myllyissä	M1/M2	M1 ja M2	M1 ja M2	M1 ja M2
%-osuus/mylly	9,0–17,9/9,0	9,0–13,6	25,2–33,6	11,3–21,5
%-osuus kattilan täydestä tehosta	2,1–4,1/2,1	4,1–5,3	5,7–11,8	2,6–9,9

Taulukko 6.2. Blokin 3 pellettikokeiden toteutunut suunnitelma huhtikuulta 2014.

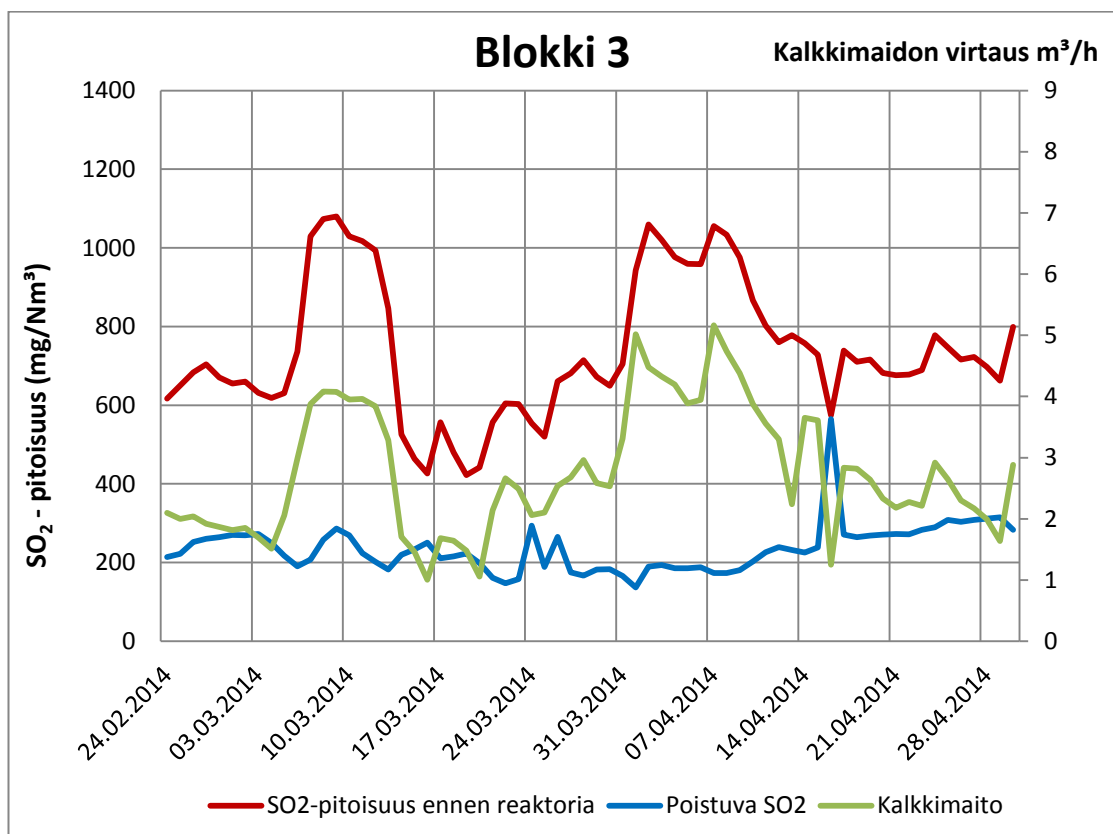
Päivämäärä	3-4.4.2014	4.4.2014	16–17-4-2014	22.4.2014	23.4.2014	29.4.2014	30.4.2014
Pellettilaatu	höyry	höyry (50/50hiili/ pelletti)	teollisuus	teollisuus	höyry	höyry	teollisuus
Pellettiä myllyissä	M1 ja M2	M1	M2 (käytössä M2-M4)	M2	M1 ja M2	M2	M1/M2
%-osuus/mylly	10,8–14,3	42,0	8,5	8,5	9,0	12,1	12,0/9,0
%-osuus kattilan täydestä tehosta	2,1–5,5	7,5	2,0	2,0	4,1	2,8	2,8/2,1

Molempien yksiköiden rikinpoiston lopputuotteesta, reaktoripölystä sekä kiertopölystä otettiin koeajojen aikana päivittäin näytteet. Näytteistä analysoitiin laboratoriossa kalkki-, kloridi-, sulfaatti-, sulfiitti- ja rikkipitoisuus sekä kosteus. Lentotuhkasta tutkittiin hiilen palamattomien osuus ja hiilestä ja pelletistä tutkittiin kloridi- sekä rikkipitoisuus. Koeajojaksojen aikana seurattavia suureita olivat:

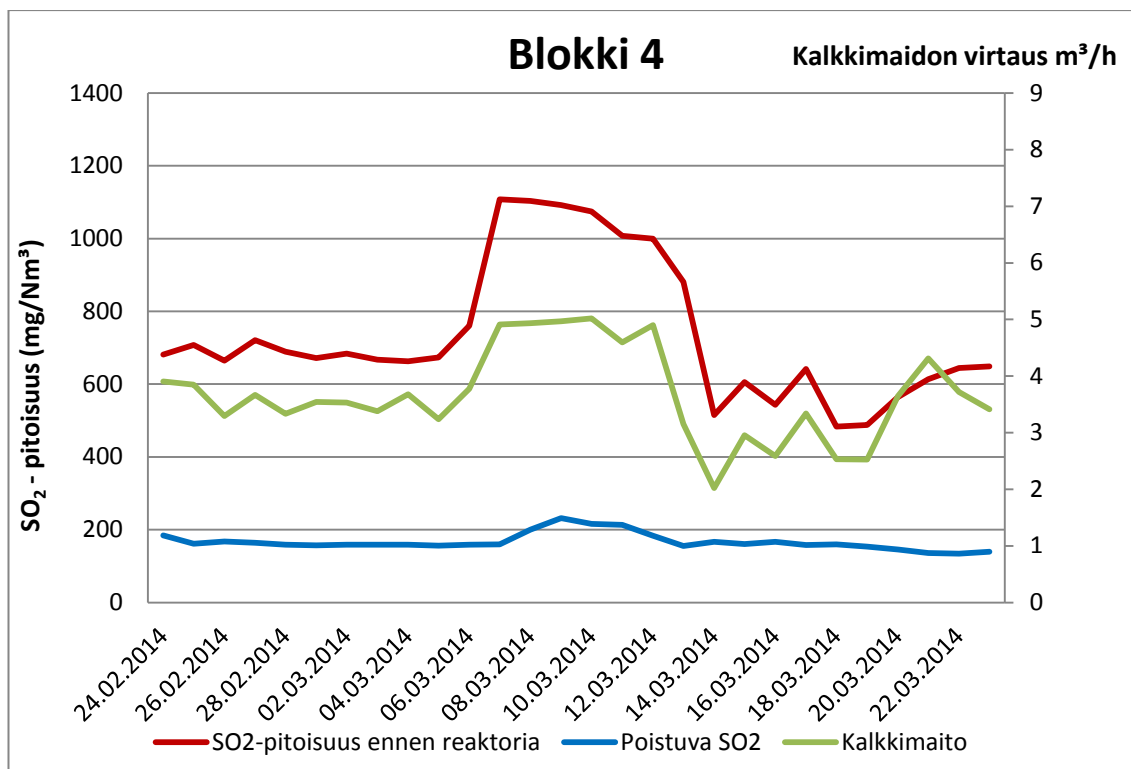
- Tuorekalkin kulutus
- Hiilen kulutus
- Lämpötila ennen ja jälkeen HaRin
- Pöly piipussa
- NO_x piipussa
- SO₂ ennen rikinpoistoa ja piipussa

- Reaktorin jälkeinen kosteus
- Kalkkilietteen virtaus
- Kiertopölylietteen tiheys
- Paine-erot letkusuodattimissa
- Vesijohtoveden kulutus

Koeajojen aikana Hanasaaren rikinpoistolaitos ajettiin ohitukselle koeajojen aikana 25.3. ja 26.3. suunniteltujen MMEA päästömittausten takia. Vikaantumisia ei koeajojen aikana ilmennyt. Kuvissa 6.1 ja 6.2 on nähtävillä Hanasaaren voimalaitoksen molempien blokkien SO₂-pitoisuudet ennen ja jälkeen rikinpoiston ja kalkkimaidon virtaus koeajojaksojen ajalta. Hanasaaren voimalaitoksella poltettiin koeajojen alussa venäläistä hiiltä ja välillä poltettiin noin viikko puolalaista. Tämä on nähtävissä kuvissa 6.1 ja 6.2 kohonneena SO₂-pitoisuutena ennen reaktoria, sillä puolalaisessa hiilessä on korkeampi rikki-pitoisuus. Pelletin polttaminen ei tuloksista päätellen käytetyillä prosenttiosuuksilla vaikuttanut rikinpoistolaitoksen toimintaan.



Kuva 6.1. Kalkkimaidon virtaus ja SO₂-pitoisuudet ennen reaktoria ja jälkeen Hanasaaren blokkilla 3.



Kuva 6.2. Kalkkimaidon virtaus ja SO₂-pitoisuudet ennen reaktoria ja jälkeen Hanasaaren blokkilla 4.

Hanasaaren voimalaitoksen blokin 4 ajaminen uusien päästörajoiden puitteissa osoittautui alkuun hankalaksi. Kiertopölylietettä tuli sekoitussäiliöstä yli jo kokeen ensimmäisenä päivänä ja tilanne jatkui samanlaisena ensimmäisen viikon ajan. Letkusuodattimilla erotettava kuiva pöly kannattaa kierrättää uudestaan prosessiin, sillä se sisältää paljon reagoimatonta kalkkia. Nykyään kustannuksien minimoimiseksi käytetäänkin suhteessa enemmän kiertopölylietettä kuin tuorekalkkia, kun taas laitoksen alkuaikoina asetelma oli toisin päin, sillä silloin kalkin ostokustannukset olivat pienet.

Hanasaaren voimalaitoksen lietteenkäsittelyjärjestelmän ongelmana on, että alun perin laitosta ei ole mitoitettu niin suurelle kiertopölymäärälle, kuin mitä nyt tiukemmissa rajoissa ajettaessa prosessi vaatii. Lietteen valmistuksessa käytettävää kiertopölyä lähtee kolmelta pölylähettimeltä samanaikaisesti kiertopölysiiloon ja edelleen sekoitussäiliöön. Yksi käytössä oleva sekoitussäiliö ei riitä kaikelle pölymäärälle, jota kolme pölylähetintä samanaikaisesti sinne lähettää. Kiertopöly lähetetään kiertopölysiiloon pneumaattisesti, jolloin paine kasvaa suureksi aina silloin, kun pölyä syötetään ja järjestelmästä tulee lietettä ulos sen vuoksi. Suurempi kalkin määrä kiertopölyssä tekee kiertopölystä myös tavallista liukkaampaa, jolloin se luistaa helpommin ruuveilla.

Laitoksella oli kesällä 2013 kokeilussa pölylähettimillä venttiilit, jotka säätelivät pölyn lähettämistä siten, että yksi pölylähetin kerrallaan lähetti pölyä kiertopölysiiloon. Venttiilien materiaali (teflon) oli kuitenkin vääränlainen ja venttiilit kestivät jatkuvassa käytössä vain kaksi kuukautta. Uudet venttiilit ovat hankinnassa. Koeajon toisen viikon alussa pölylähettimet säädettiin lähettämään pölyä vain yksi linja kerrallaan ja tämä helpotti tilannetta.

Korkearikkistä hiiltä poltettaessa laski pölypäästö määrä reilusta 20 mg/Nm^3 alle 10 mg/Nm^3 . Arvo nousi jälleen hiililaadun palauduttua matalarikkiseksi, mutta jälleen kokeen lopulla pölypäästö oli alle 5 mg/Nm^3 . Pölypäästö määrä on suoraan yhteydessä letkusuodattimen toimintaan. Letkusuodattimien suodatinpusseihin tulee käytön seurauksena reikiä, joista pölyä pääsee läpi. Mitä enemmän reikiä ehtii syntyä, sitä enemmän pölypäästöt kasvavat. Tähän voidaan vaikuttaa oikeastaan vain sillä, että suodattimen pusseja vaihdettaisiin nykyistä tiheämmällä aikavälillä. Suodattimen pussimateriaaleja on vaihdeltu aikojen saatossa ja tähän mennessä ei ole löytynyt materiaalia, joka olisi kustannuksiltaan ja toimivuudeltaan ylivoimaisesti kyseiseen tarkoitukseen paras.

Koeajojaksojen aikana poistuvan SO_2 -pitoisuuden päiväkeskiarvo blokilla 4 ylitti 200 mg/Nm^3 rajan kokeen keskivaiheilla välillä 9.3–11.3.2014. Poltettava hiili oli tuona aikana koeajojakson korkeimman rikkipitoisuuden omaavaa ja kalkin kulutuksen päiväkeskiarvo oli tuolloin noin 5 t/h . Kyseisiä kolmea päivää lukuun ottamatta Hanasaaren blokilla 4 onnistuttiin pitämään päiväkeskiarvot alle 200 mg/Nm^3 .

6.2 Salmisaaren koeajot

Salmisaaren voimalaitoksella järjestettiin myös kevään 2014 aikana koeajojakso, jossa tarkoituksena oli testata rajoittavat tekijät päästöjen alentamiseksi. Kokeiden lähtökohdaksi pidettiin vuonna 2016 voimaan tulevaa rikkipäästöjen uutta rajaa, 200 mg/Nm^3 . Tällä hetkellä voimalaitosten päästöraja on 400 mg/Nm^3 ja kuukausikeskiarvo on noin 350 mg/Nm^3 , joten tämänhetkistä rajaa ei ylitetä. Koeajojakson aikana voimalaitosta ajettiin siten, että rikkipäästöt pyrittiin pitämään 150 mg/Nm^3 paikkeilla.

Koeajojakso alkoi 2.2.2014 ja sen alkuperäiseksi suunniteltu pituus oli neljä viikkoa. Kalsiumkloridien arvo pyrittiin pitämään välillä 4-6 % ja jäännöskalkin Ca(OH)_2 välillä 2-3 %. Kiertopölysiilojen ruuvien ja letkusuodattimien toimintaa seurattiin tarkkaan koko kokeen ajan. Samoin kuin Hanasaassa myös Salmisaassa otettiin päivittäin näytteet rikinpoiston lopputuotteesta, lentotuhkasta, reaktoripölystä sekä kiertopölystä. Salmisaaren näytteistä analysoitiin myös samat ominaisuudet kuin Hanasaassa ja samoja suureita seurattiin.

Salmisaaren rikinpoistolaitokselta saadut mittausarvot ja lopputuoteanalyysit löytyvät taulukoituna liitteistä 5 ja 6. Voidaan todeta, että SO_2 :n arvot ylittivät koko kokeen aikana 200 mg/Nm^3 rajan kahdesti, 14.3.2014 ja 15.4.2014. Pölypäästöt ylittivät 20 mg/Nm^3 rajan myös kaksi kertaa, 24.3.2014 ja 26.3.2014.

Tuloksista nähdään, että kalsiumkloridin määrä on kokeen loppua kohden ollut lievästi noususuuntainen. Arvot ovat kuitenkin pysyneet odotettujen rajojen sisällä ja mitään suurempia ongelmia kokeen aikana ei ilmestynyt. Koeajo sujui siinä määrin hyvin, että sitä päätettiin jatkaa ajokauden loppuun saakka. 18.3.2014 eteenpäin tehtiin enää kevennetyt lopputuoteanalyysit. Rikinpoistolaitos vikaantui koeajojen aikana keran, 20.3.2014.

Salmisaaren koeajot sujuivat yllättävän hyvin siihen nähden miten vuonna 2013 tehdyt koeajot menivät. Yhtenä erona tänä vuonna on se, että käytetty hiili sisälsi paljon

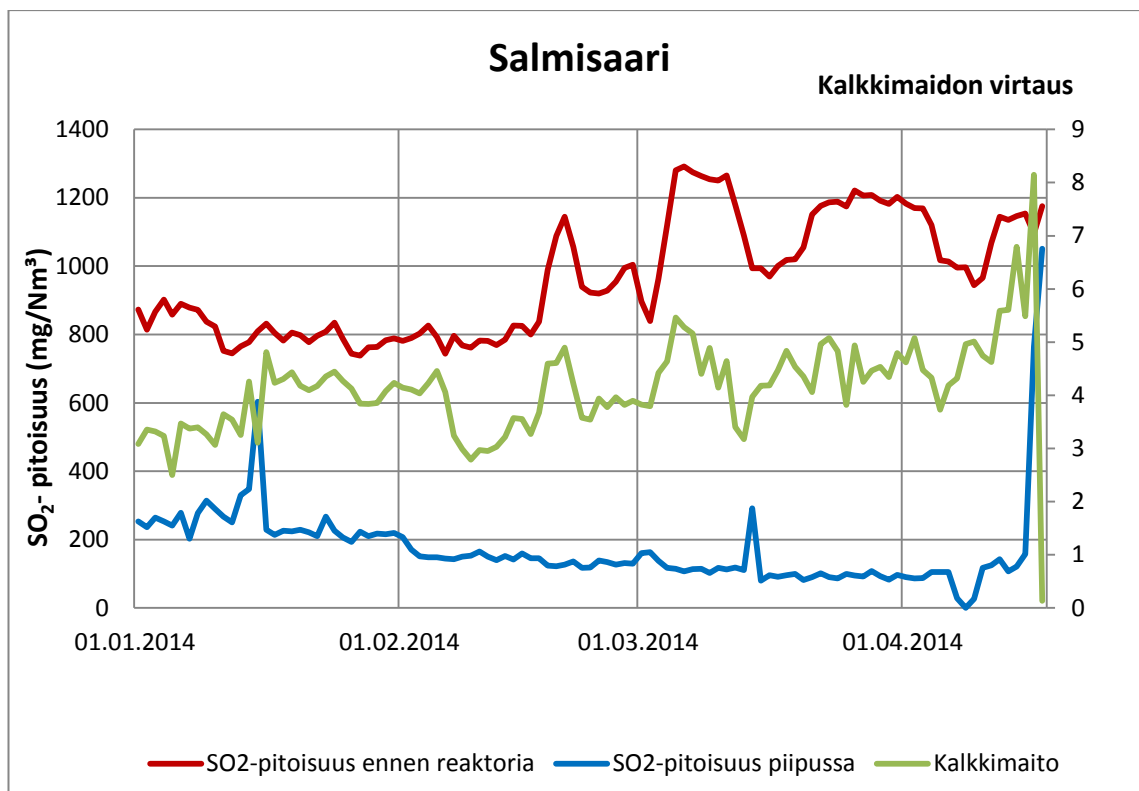
vähemmän rikkiä ja kloridia kuin viime vuonna. Polttoon otettavan hiilen tarkalla määrittelyllä pystyttäisiin siis vaikuttamaan osaltaan siihen, että tulevien päästörajojen puitteissa ajaminen onnistuisi. Ylijäämäkalkkiakaan ei ollut prosessikierrossa paljoa eikä sitä tullut ruuveilta yli kuten Hanasaassa.

Toinen myönteisesti prosessiin vaikuttava tekijä oli luultavasti se, että rikinpoistolaitoksella on käytetty pelkästään vesijohtovettä. Viime vuonna kalkki sammutettiin merivedellä, mikä osaltaan toi vielä lisää kloridia prosessiin. Järjestelmä ei silloin pysynyt kunnolla käsittelemään niin suuria kloridi- ja rikkimääriä eikä sen vuoksi toiminut kunnolla. Salmisaassa ei silti ole nyt tarvinnut lisätä kloridia prosessiin, vaikka käytetäänkin vesijohtovettä.

Ainoat ongelmat ovat olleet pölylähettimillä, joilla on ollut hieman lähetysongelmia. Lähtenyt pöly on ollut välillä kokkareista, johtuen sen liiasta kosteudesta. Nämä ongelmat johtuvat kuitenkin hyvin todennäköisesti jostain muusta syystä kuin koeajoista.

Kiertopölysiilon kanssa ei ole ongelmia Salmisaassa, sillä Salmisaassa on kahden pienen säiliön sijaan käytössä yksi iso säiliö, johon pölylähettimet syöttävät kiertopölyä. Loput pölystä syötetään lopputuotesiiloon. Kiertopölysiilon koko on todettu koeajojen aikana riittäväksi laitoksen tuottamalle pölymäärälle.

Tulevaisuudessa alkava pelletin poltto saattaa kuitenkin tuoda tullessaan haasteita, etenkin mikäli pellettiä aletaan polttaa 40 % osuudella koko laitoksen tehosta. Lisääntynyt pelletti lisää savukaasun määrää, joten Salmisaaren tulevat pellettikokeilut avartavat varmasti tätäkin asiaa lisää. Salmisaaren tulokset ovat nähtävillä kuvaajassa 6.3 vuoden 2014 alusta lähtien.



Kuva 6.3. Kalkkimaidon virtaus ja SO₂-pitoisuudet ennen reaktoria ja piipussa Salmisaaren rikinpoistolaitoksella keväällä 2014.

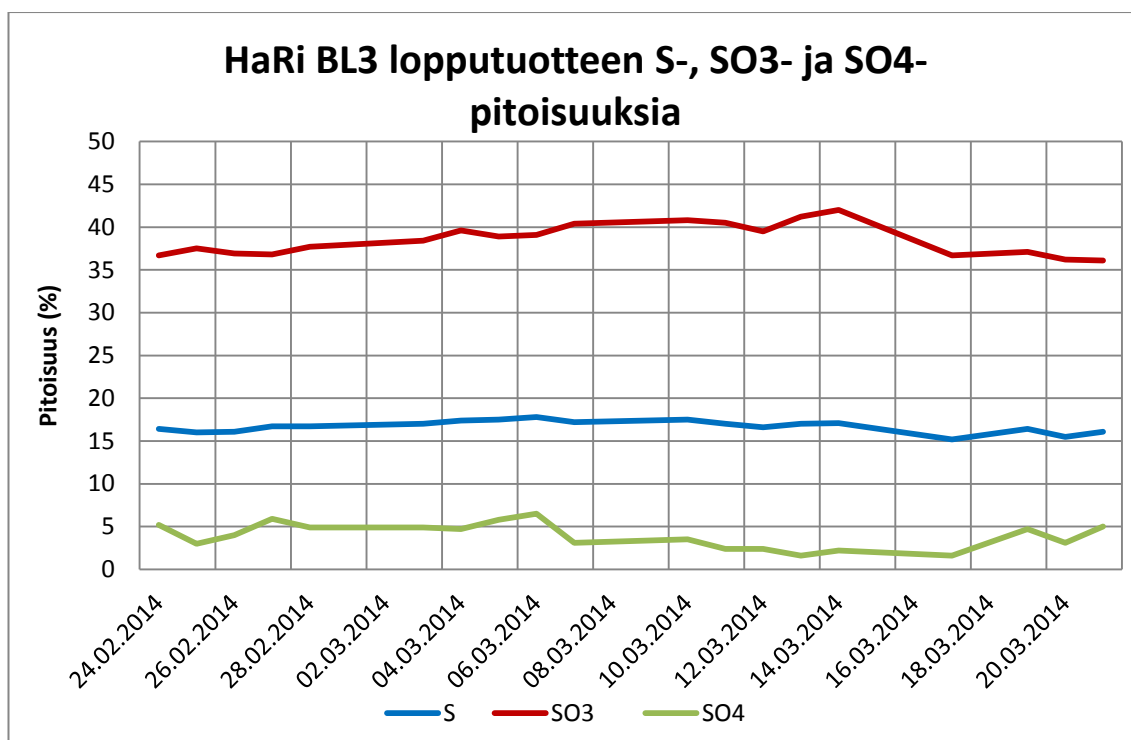
Kuvaajasta on nähtävissä, että kalkkilietteen virtaus myötäilee pitkälti reaktoriin tulevan SO₂-pitoisuuden käyrää. Piipun SO₂-pitoisuuden mittaus antoi erikoisia lukemia maaliskuun puolesta välistä eteenpäin ja kuvaajasta onkin nähtävillä ensin yhtäkkinen korkea arvo päivän 14.3.2014 kohdalla. Siitä eteenpäin piipun mittari pätki ja antoi alle 100 mg/Nm³ arvoja tai vain hieman päälle, mikä on liian matala taso.

SaRi:n koeajo lopetettiin 11.4.2014 laitoksen alasajon valmisteluiden takia. Kokonaisuutena koeajo sujui hyvin. Piipun SO₂-analysointorin kanssa ilmeni ongelmia kokeen loppupuolella, joiden vuoksi säätö häiriintyi ja arvot heiluivat tarpeettomasti, mutta kemia ja laitteet toimivat ongelmitta. Tulevat päästöjen raja-arvot ylitettiin vain muutaman kerran tuntikohtaisesti, jotka nämäkin aiheutuivat todennäköisesti mittareiden häiriötilanteista.

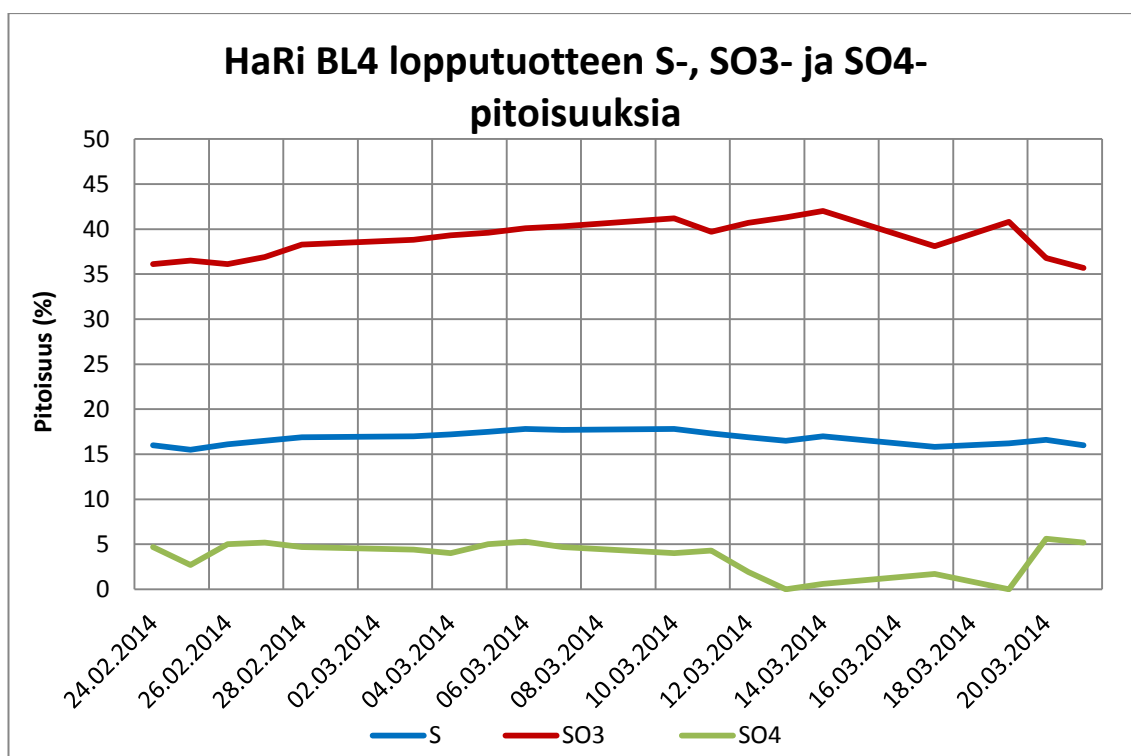
6.3 Rikinpoiston lopputuotteen ominaisuudet

6.3.1 Hanasaaren lopputuote

Kuvat 6.4 ja 6.5 esittävät Hanasaaren molemmilta blokeilta otetuista rikinpoiston lopputuotenyhteistä mitattuja pitoisuuksia. Lopputuotteen S-, SO₃- ja SO₄-pitoisuuksia tutkittiin vain 21.3 asti. Arvoissa ei ollut huomattavissa radikaalia vaihtelua, joten tämän jälkeen analysoitiin lopputuotteista enää kevennetyt pitoisuustutkimukset.

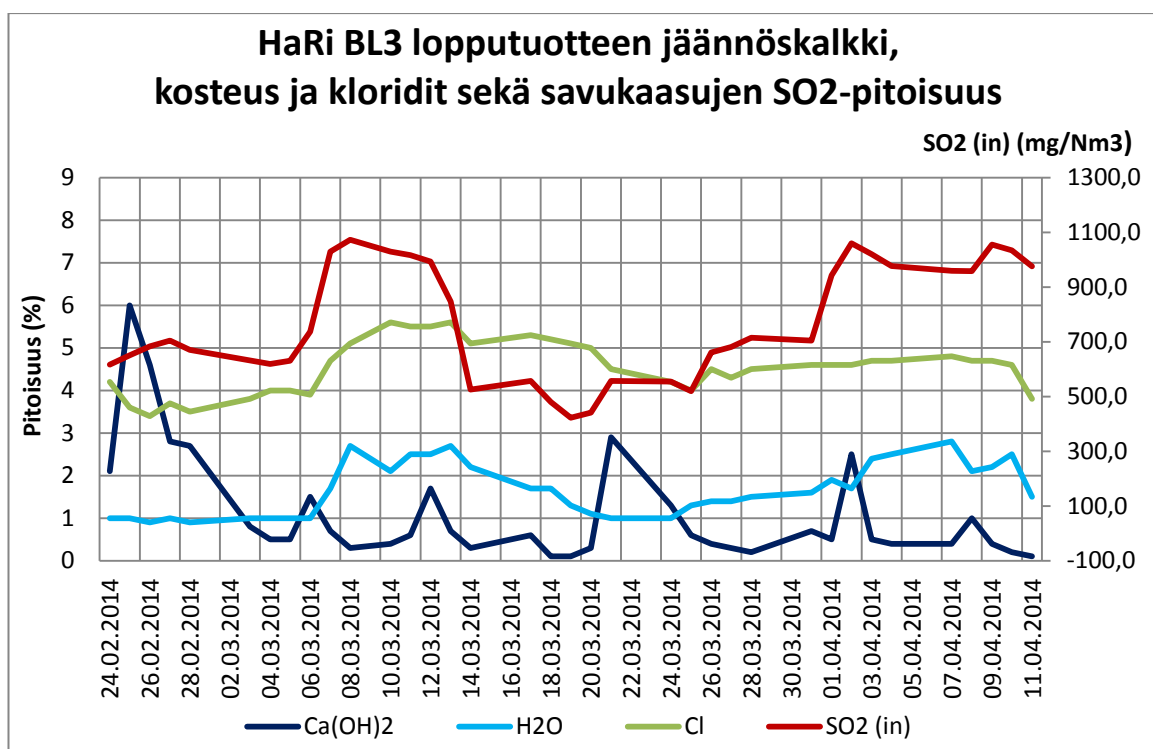


Kuva 6.4. Lopputuotteen S-, SO₃- ja SO₄-pitoisuuksia blokilta 3.

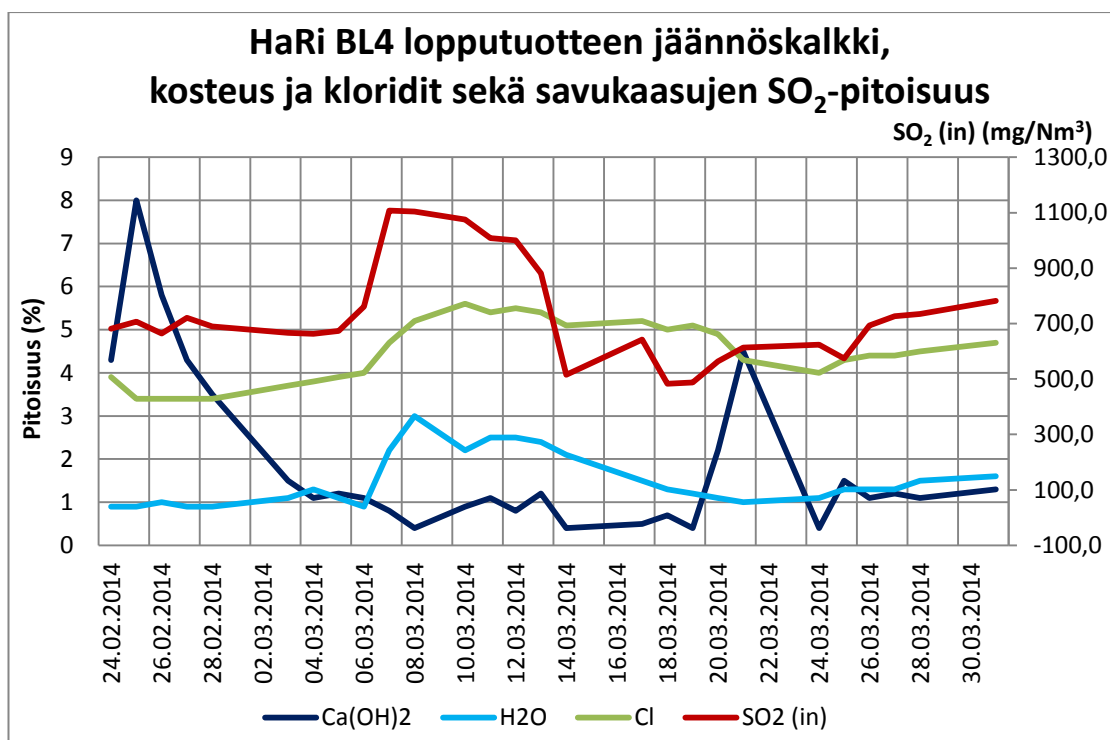


Kuva 6.5. Lopputuotteen S-, SO₃- ja SO₄-pitoisuuksia blokilta 4.

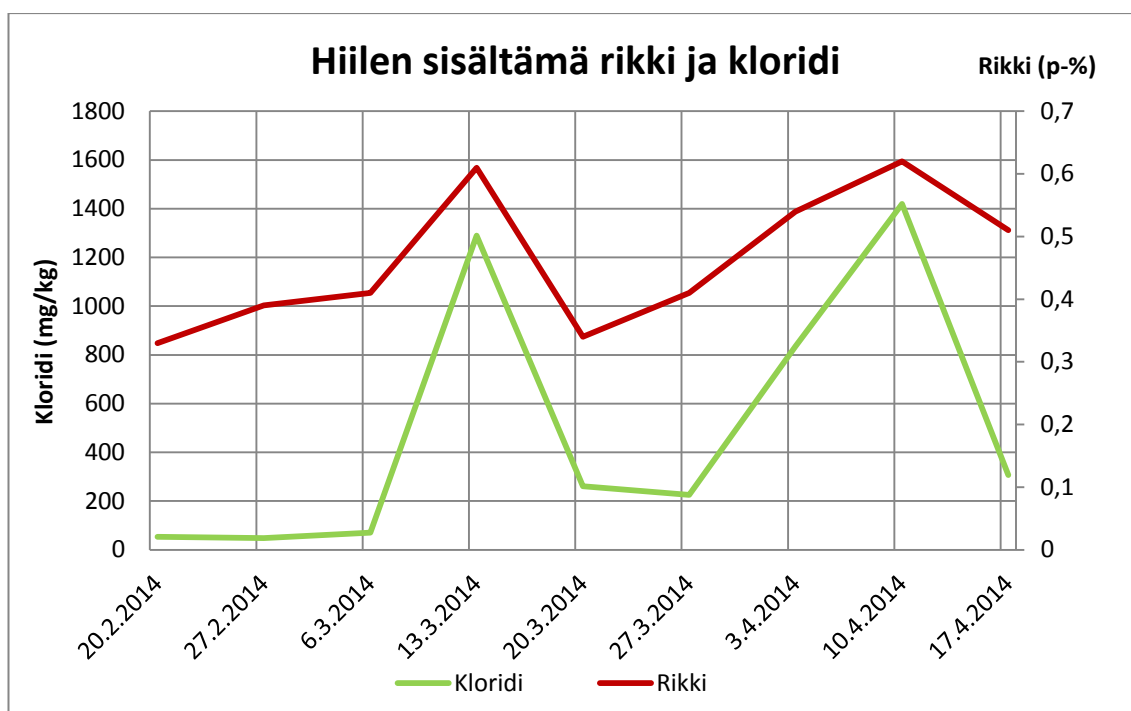
HaRi:n lopputuotteiden sisältämä kosteus lähti hieman nousuun samaan aikaan kun poltettava hiili muuttui venäläisestä puolalaiseksi. Jäännöskalkin määrä kävi melko korkealla molemmilla blokeilla heti koeajojen alussa, mutta asettui pian tavalliselle tasolle. 21.3.2014 jäännöskalkin määrä kohosi hetkittäisesti blokilla 4 arvoon 4,5 % ja blokilla 3 arvoon 2,9 %. Kuviin 6.6 ja 6.7 on piirretty HaRi:n molempien blokkien lopputuotteen jäännöskalkki, kosteus ja kloridit. Kuvassa 6.9 on nähtävillä laitoksella poltetun kivihiilen rikki- ja hiilipitoisuus. Tiedot on poimittu viikkohiilianalyysituloksista.



Kuva 6.6. Lopputuotteen jäännöskalkki, kosteus ja kloridit blokilta 3 sekä savukaasujen SO₂-pitoisuus.



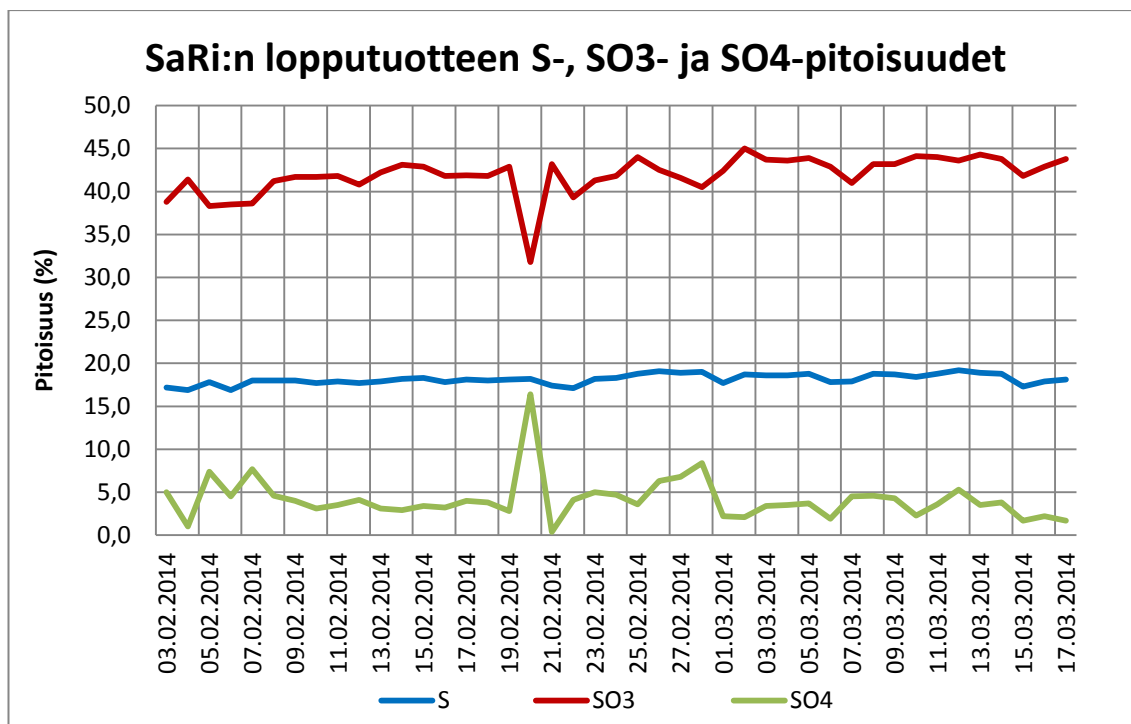
Kuva 6.7. Lopputuotteen jäännöskalkki, kosteus ja kloridit blokilta 4 sekä savukaasujen SO₂-pitoisuus.



Kuva 6.8. Hanasaaren voimalaitoksella poltetun kivihiilen kloridi- ja rikkipitoisuudet viikkohiilianalyseista.

6.3.2 Salmisaaren lopputuote

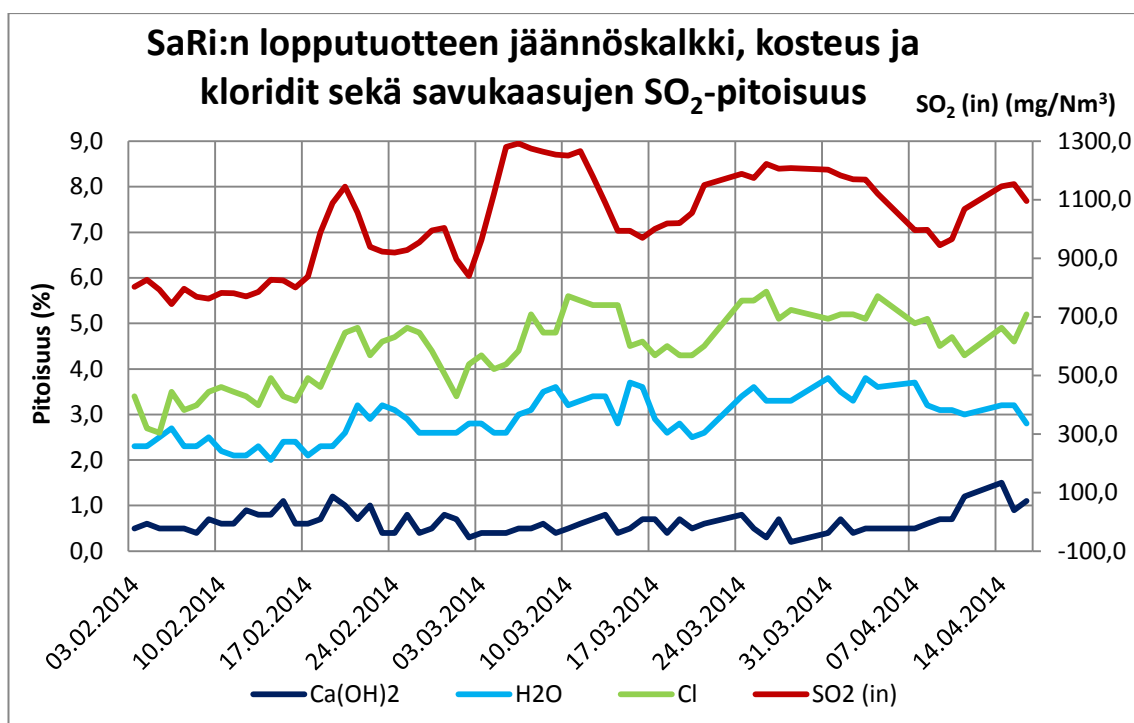
Kuvaan 6.9. on piirretty SaRin lopputuotteen S-, SO_3 - ja SO_4 -pitoisuudet aikaväliltä 3.2.–17.3.2014, jolloin lopputuotteesta tutkittiin kyseiset arvot päivittäin. Siitä eteenpäin lopputuotteesta analysoitiin rikkijyhdisteiden pitoisuudet vain viikoittain, sillä taso oli pysynyt melko tasaisena koko koeajojen ajan. Ainoastaan 20.2.2014 on huomattavissa SO_3 - ja SO_4 -pitoisuuksissa selvempi muutos. Tuleva SO_2 vaihteli välillä 700–1350 mg/Nm^3 ja keskiarvo oli 1018 mg/Nm^3 . Poistuva SO_2 vaihteli välillä 70–240 mg/Nm^3 ja keskiarvo oli 196 mg/Nm^3 .



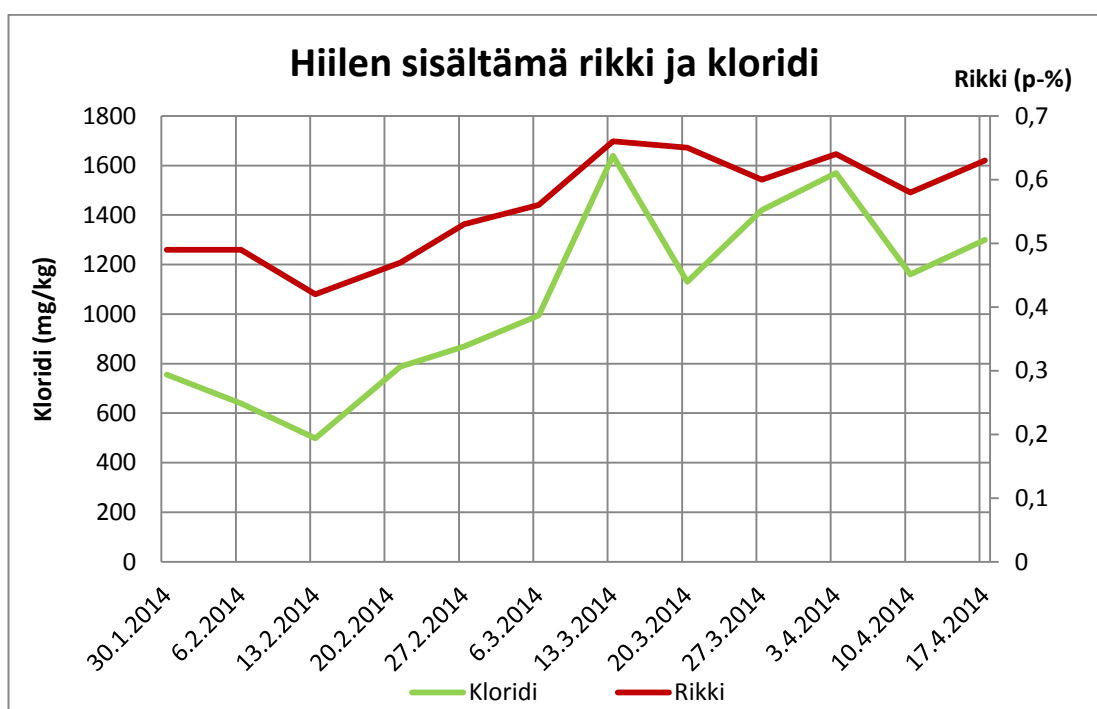
Kuva 6.9. SaRi:n lopputuotteen S-, SO₃- ja SO₄-pitoisuuksia.

Salmisaaressa prosessi toimi koeajojen aikana hyvin käyttämällä pelkkää vesijohtovettä, eikä kloridia tarvinnut lisätä. Koko laitoksella on käytetty pelkästään vesijohtovettä vuoden 2014 alusta lähtien. Kuvassa 6.10 on nähtävillä SaRi:n lopputuotteessa oleva jäännöskalkki ja kosteus vetenä ajalta 3.2.–16.4.2014. Kuvasta 6.11 puolestaan nähdään voimalaitoksella poltetun kivihiilen rikki- ja kloridipitoisuudet koeajojakson ajalta.

RPT:n kloridit, jäännöskalkki ja kosteus muuttuivat suhteessa erotusasteeseen hyvin vähän ja muutoksista ei seurannut ongelmia koeajon aikana. Ennen koeajojaksoa jäännöskalkki oli noin 0,4 % ja koeajon aikana määrä vaihteli välillä 0,2–1,5 %. Kloridit olivat puolestaan koeajojen alkaessa noin 3,4 % ja koeajojakson aikana kloridit vaihtelivat välillä 2,6–6,5 %, kohoten hieman loppua kohti. Kosteus myös hieman kasvoi koeajojakson aikana. Arvot eivät muuttelleet yhtä rajusti Salmisaaren lopputuotteessa kuin Hanasaaren lopputuotteessa.



Kuva 6.10. SaRi:n lopputuotteen jäännöskalkki, kosteus ja kloridit sekä savukaasujen SO₂-pitoisuus.



Kuva 6.11. Salmisaaren voimalaitoksella poltetun kivihiilen kloridi- ja rikkipitoisuudet.

Kuvaajista näkee selvästi, että klooripitoisuudet ovat molemmilla laitoksilla yli optimivälin 2–3 %. Hanasaaren voimalaitoksella klooripitoisuus oli jatkuvasti yli 3 % ja ylitti kokeen keskivaiheilla 5 % arvon. Salmisaarella kokeen loppua kohti tuli 5 % rajan ylityksiä.

7 LAADUNHALLINTAMAHDOLLISUUDET TUOTANTOPROSESSISSA

Rikinpoistolaitoksella syntyvän rikinpoiston lopputuotteen laatuun ja rikinpoiston kustannuksiin vaikuttavat poltettava kivihiili, rikinpoiston loppulämpötila, kalkkiliete, tuotettava paineilma sekä prosessissa käytettävä vesi. Lopputuotteen laadun parantamisella ja mahdollisesti sivutuotemäärien pienentämisellä pystyttäisiin vähentämään kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää ja siten pienentämään jäteveromaksuja. Tulevat tiukemmat rajat rikki- ja typpipäästöille edellyttävät ainakin Hanasaaren rikinpoistoprosessiin joitain muutoksia.

Tehtyjen koeajojaksojen perusteella Hanasaaren voimalaitoksella uusien päästörajoiden puitteissa ajaminen osoittautui heti alkuun ongelmalliseksi. Lietteenkäsittelyjärjestelmä tulee vaatimaan modifiointia pystyäkseen käsittelemään molempien blokkien lisääntyntä kiertoliettemäärää. Salmisaassa puolestaan koeajot sujuivat lähes ongelmitta ja välttämättömiä investointitarpeita ei ole.

7.1 Käytettävä hiili

Kivihiilivoimalaitoksilla poltettava hiili vaikuttaa syntyvän RPT:n määrään ja koostumukseen. Hiilen sisältämän rikin ja kloridin pitoisuudet sekä tuhkapitoisuus määräävät kaikki osaltaan miten paljon ja minkälaista RPT:tta muodostuu. Myös hiilen jauhautuvuudella ja palamisominaisuuksilla on vaikutusta.

Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset on alun perin rakennettu olettaen, että poltettavan kivihiilen rikkipitoisuus on suhteellisen korkea. Näin ollen se, että poltettava hiili olisi mahdollisimman vähärikkistä, ei ole prosessin optimaalisen toimivuuden kannalta hyvä ratkaisu. Kun poltetaan hyvin vähärikkistä hiiltä, jo se itsessään aiheuttaa ongelmia prosessiin. Tämä liittyy rikin ja kloorin suhteelliseen määrään polttoaineessa. Pelkistävissä olosuhteissa alkalikloridit aiheuttavat korroosiota ja mikäli lämpötila on alle 1000 °C, voivat ne muodostaa suolasulia. Tämän seurauksena voi tapahtua vaarallisen nopea korroosiovaurio.

Tiettyjen alkalimetallien sulfaatit ovat alle 900 °C lämpötilassa termodynaamisesti stabiilimpia kuin samojen alkalimetallien kloridit, joten polttoaineessa on oltava riittävästi rikkiä suojaamaan kloridin mahdolliselta korroosiovaikutukselta. Liian korkea rikkipitoisuus ei kuitenkaan ole korroosiomielessä hyvä prosessin loppupään happokastepistettä ajatellen. Happokastepistekorrosio voimalaitosympäristössä on mahdollista savukaasujen kanssa kosketuksissa olevilla pinnoilla silloin, kun kaasut sisältävät veden kanssa happoja muodostavia kaasumaisia komponentteja, joita ovat esimerkiksi SO₃ ja HCl. Edellytyksenä on myös, että lämpötilan on laskettava tarpeeksi alas, jotta happo

voi nesteytyä. Tähän lämpötilaan vaikuttaa sekä savukaasujen sisältämän veden ja savukaasuissa olevan happoja muodostavan komponentin määrä. Rikkihapon kastepistealue on hyvin laaja ja selvästi veden happokastepistettä korkeampi.

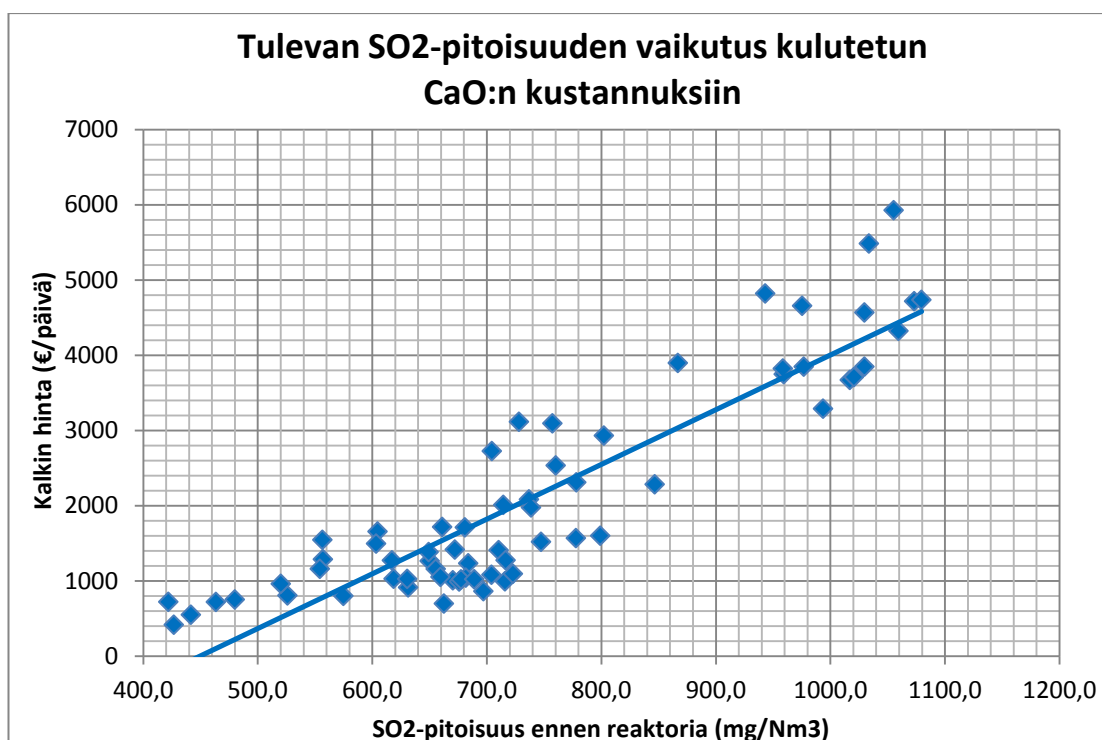
Kastepistekorroosiota voi tapahtua etenkin alasajojen aikana sekä myös normaalin käytön yhteydessä. Joskus korroosioprosessi voi olla rikkihapon tapauksessa autokatalyyttinen eli aiemmin pinnoille muodostuneet rautasulfaattikerrostuvat katalysoivat savukaasujen SO_2 -molekyylien hapettumista SO_3 -molekyyleiksi, jotka reagoivat veden kanssa muodostaen teräspinnoille väkevää rikkihappoa ja edelleen rautasulfaattia.

Salmisaaren koeajojen onnistumisen yksi syy on ollut polttoon menevän kivihiilen laatu. Korkearikkistä hiiltä on sekoitettu matalarikkiseen hiileen, jolloin ongelmilta on välttytty. Eri hiililaatujen sekoittaminen onnistuu Salmisaaressa, sillä siellä kivihiili varastoidaan siiloihin, jolloin tiedetään missä on mitäkin ja voidaan hallitusti syöttää tietynlaista hiiltä prosessiin. Hanasaaressa hiili varastoidaan maanpäällisellä hiilikentällä isossa kasassa, joten Hanasaaressa ei voi yhtä hyvin hallita minkälaista hiiltä menee polttoon.

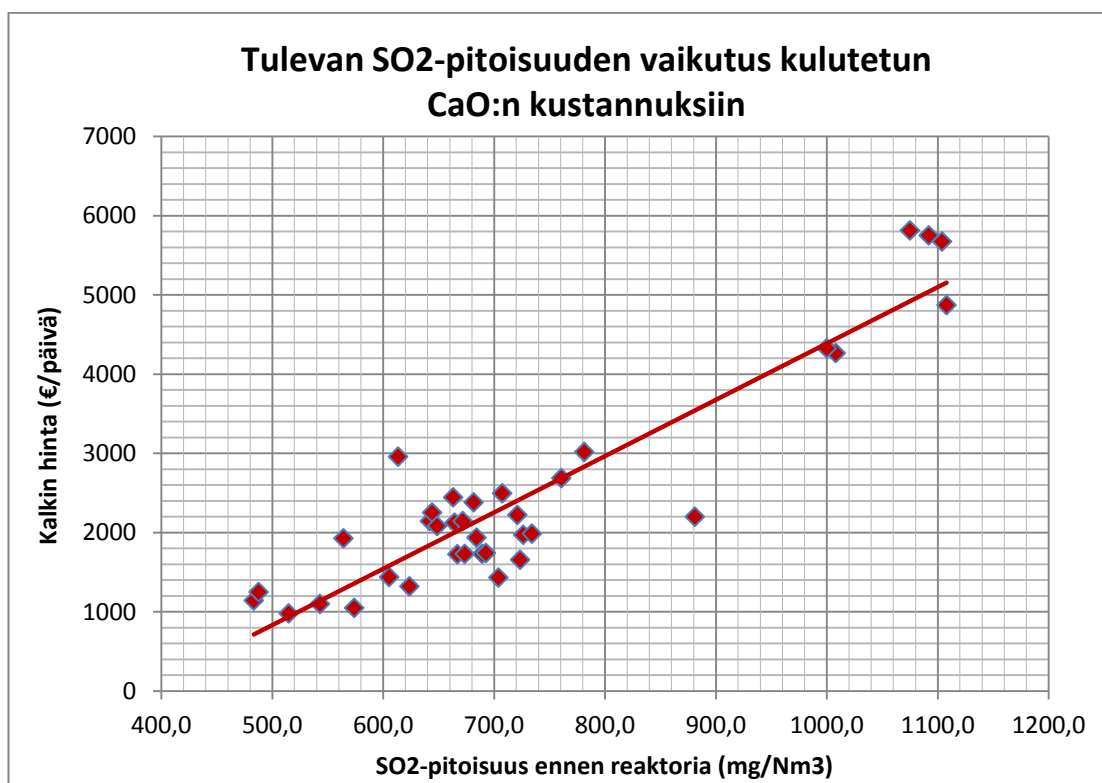
Hanasaaren RPT:n laadun kannalta olisi hyödyllistä tietää millaista hiiltä polttoon tulee, jotta rikinpoistoprosessia voitaisiin ohjata ennakoivasti. Tällaisen ennakkoinnin lisäksi olisi tärkeää, että rikinpoiston toiminnan kannalta hyvin korkean rikki- tai kloridipitoisuuden omaavaa hiiltä ei edes ostettaisi Hanasaareen. Erilaisen hiilen varastointitavan vuoksi Salmisaaressa on mahdollista polttaa ominaisuuksiltaan esimerkiksi korkean kloridi- tai rikkipitoisuuden omaavaa hiiltä ilman, että se hankaloittaa rikinpoistolaitoksen toimintaa merkittävästi.

Kevään 2014 aikana Hanasaaren laitoksella poltetun kivihiilen rikkipitoisuus (vedettömänä) on vaihdellut välillä 0,33–0,62 p-% ja kloridit (vedettömänä) välillä 54–1420 mg/kg. Salmisaaressa rikkipitoisuus on ollut 0,42–0,66 p-% ja kloridipitoisuus 756–1640 mg/kg (ks. kuvaajat 6.9 ja 6.11). Etenkin hiilen kloridi- ja rikkipitoisuus vaikuttavat rikinpoistolaitoksen toimintaan, joten niiden ympärille on kannattavaa määrittää suositusrajat. Kivihiilen rikkipitoisuus vaikuttaa lähes suoraan rikinpoistolaitoksen toiminnan taloudellisuuteen ja rikkipitoisuuteen puuttumalla saataisiin selviä vähennyksiä rikinpoistolaitoksen toiminnasta syntyviin kustannuksiin.

Kuviin 7.1 ja 7.2 on piirretty Hanasaaren molempien blokkien mittaustulosten perusteella kuvaajat tulevan SO_2 -pitoisuuden vaikutuksesta päivässä muodostuviin kalsiumoksidin päiväkeskiarvon kustannuksiin. Kuvista nähdään selvästi, että mitä korkeampi rikkipitoisuus rikinpoistolaitokselle tulevissa savukaasuissa on, sitä korkeammiksi nousevat kustannukset. Suurin ero päiväkohtaisesti suurimman ja pienimmän kustannuksen välillä oli 3 blokilla 5 377 € ja blokilla 4 puolestaan 4 833 €.



Kuva 7.1. Tulevan SO₂-pitoisuuden vaikutus kulutetun kalkin kustannuksiin päivässä (Hanasaa-
ren blokin 3 mittaustuloksista).



Kuva 7.2. Tulevan SO₂-pitoisuuden vaikutus kulutetun kalkin kustannuksiin päivässä (Hanasaa-
ren blokin 4 mittaustuloksista).

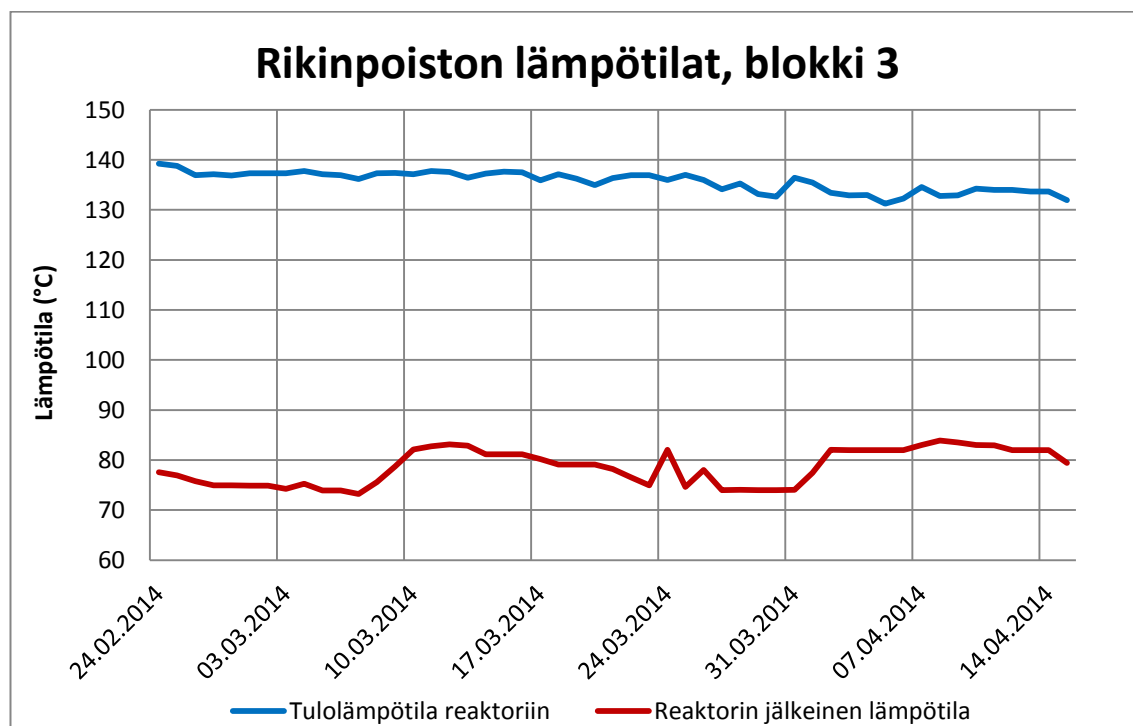
7.2 Rikinpoiston loppulämpötila

Rikinpoistolaitoksen optimaalinen loppulämpötila rikinpoistolle riippuu sumutettavan lietteen kiintoainepitoisuudesta, kosteudesta sekä polttoaineen sisältämästä rikki- ja kloorimäärästä. Loppulämpötilan raja-arvot riippuvat siitä, ajetaanko laitosta takuu-, mitoitus vai minimipisteen mukaisesti. Tavallisesti normaalin käytön aikana ajetaan takuupisteen mukaisesti ja lämpötilan vaihteluväli on 72–78 °C.

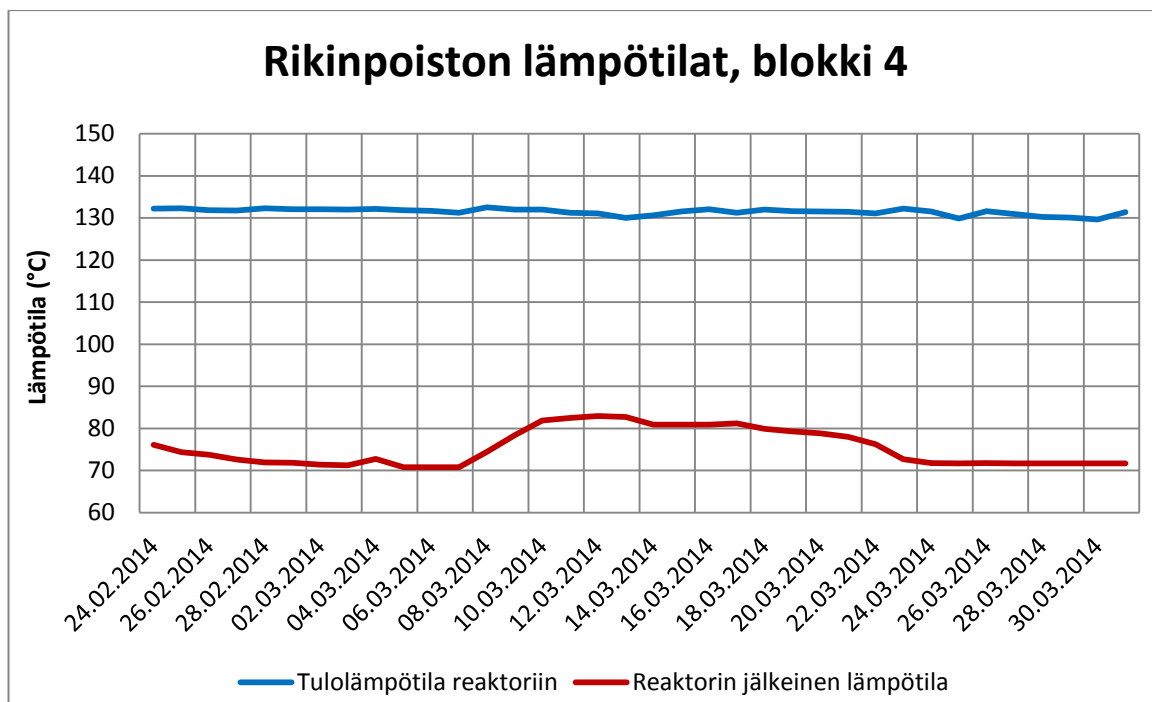
Taloudellisesta mielestä ajateltuna rikinpoiston loppulämpötila olisi hyvä pitää mahdollisimman matalana, sillä lämpötilan laskiessa kiertopölyn kosteus lisääntyy. Kosteus hidastaa sumutettavan lietteen kuivumista, mutta samalla parantaa kalkin reagoimista, jolloin lopputuotteeseen kertyy mahdollisimman vähän jäämäkalkkia. Kosteuden kasvun seurauksena kiertopölystä kuitenkin tulee vaikeammin käsiteltävää ja sitä alkaa helposti kertyä laitteistoihin. Hiilen sisältämästä kloridista on tässä hyötyä, sillä kloridi imee kosteutta itseensä. Rikinpoiston lopputuotteen laadun ja loppusijoituksen kannalta liika kloridipitoisuus ei kuitenkaan ole hyväksi.

Lämpötilan ollessa korkea, kiertää kiertopöly järjestelmässä sujuvasti, mutta kalkinkäyttö lisääntyy. Tällöin kalkinkäytön hyötysuhde laskee. Rikinpoiston loppulämpötilan nousulla ei ole vaikutusta kalkinkäytön hyötysuhteeseen yhtä paljon vähärikkisillä hiililaaduilla kuin korkeariikkisillä hiilillä.

Koeajojen aikana mitatut savukaasujen lämpötilat molemmilta laitoksilta ennen ja jälkeen rikinpoiston on esitettyinä kuvissa 7.3–7.5. Hanasaaren laitoksella tulolämpötila pysyi blokilla 3 130–140 °C välillä ja blokilla 4 130–132 °C. Savukaasujen poistumislämpötila vaihteli välillä 74–84 °C blokilla 3. Blokin 4 poistumislämpötila oli välillä hieman alle 71 °C, kohoten kokeen keskivaiheilla kuitenkin lähes 83 °C.

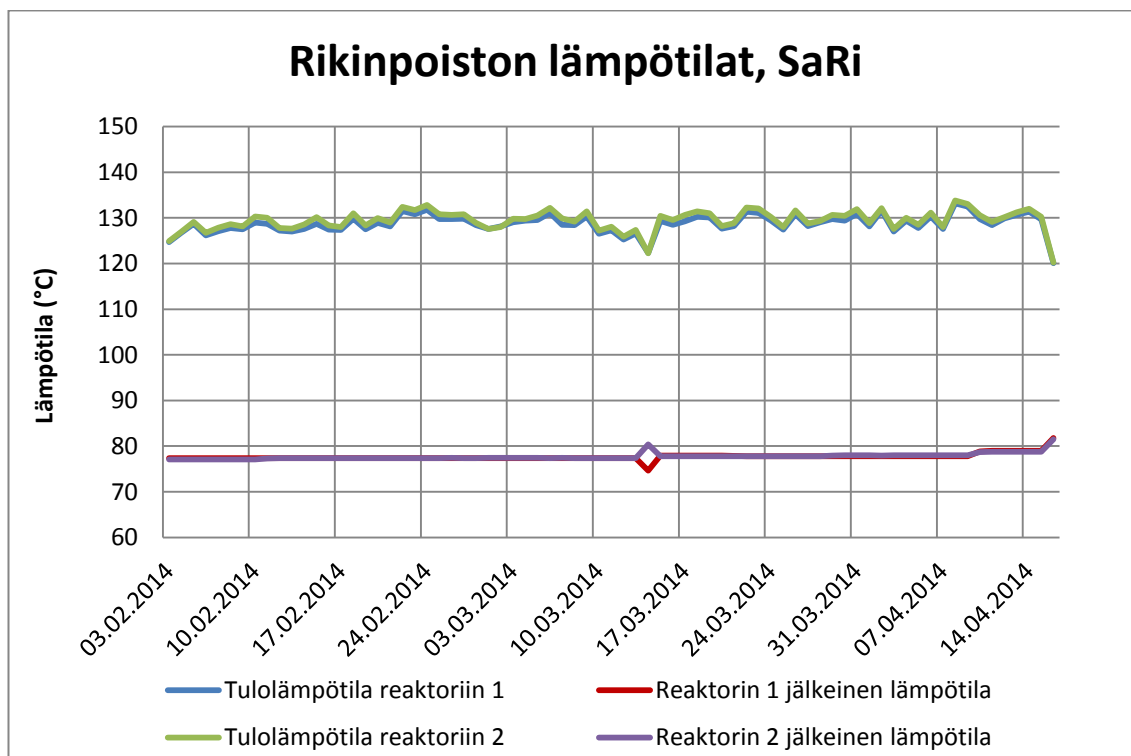


Kuva 7.3. Savukaasujen tulo- ja poistumislämpötila Hanasaaren blokilla 3.



Kuva 7.4. Savukaasujen tulo- ja poistumislämpötila Hanasaaren blokilla 4.

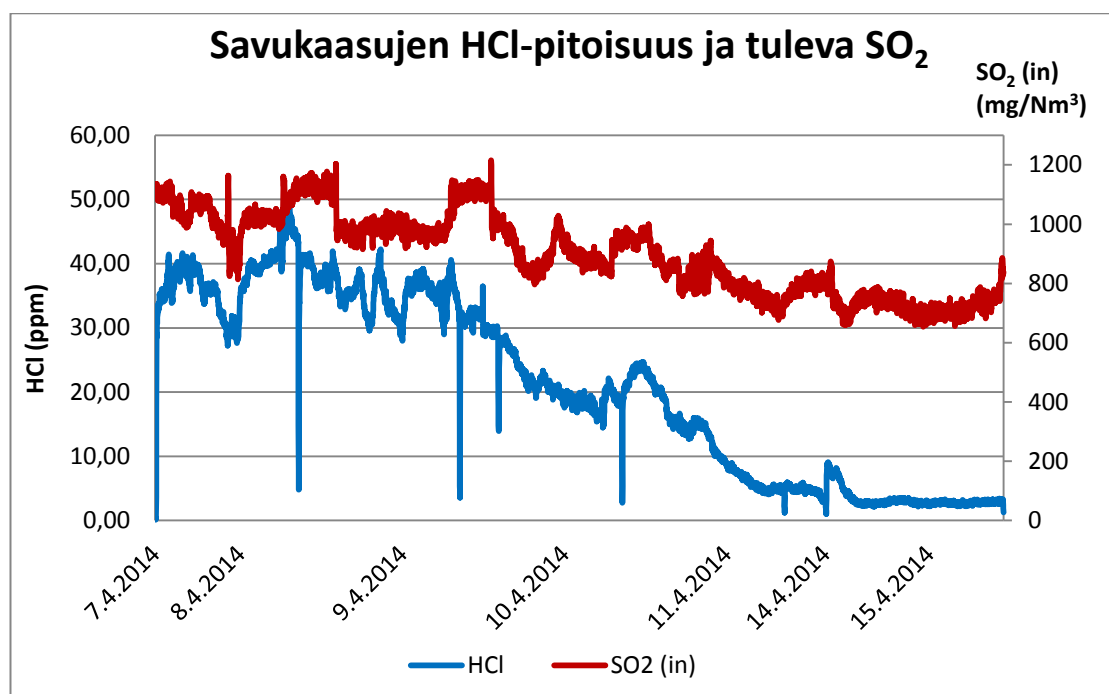
Kuvaan 7.5 on piirretty Salmisaaren rikinpoistolaitoksen tulo- ja poistumislämpötilat molemmilta reaktoreilta. Salmisaassa tulolämpötila pysyi 130 °C molemmiin puolin kummallakin reaktorilla. Poistumislämpötila pysyi hyvin tarkkaan arvossa 77–78 °C.



Kuva 7.5. Savukaasujen tulo- ja poistumislämpötilat Salmisaaren rikinpoistolaitoksella.

Rikinpoiston loppulämpötilan säädön kannalta olisi hyödyllistä tietää polttoon menevän hiilen kloridipitoisuus. Tällöin voitaisiin etukäteen tietää, mihin arvoon rikinpoiston loppulämpötila on kannattavaa säätää milloinkin. Kiertopölyn koostumuksen muuttumiseen menee aina jonkin aikaa, joten etukäteisanalyysin avulla pystyttäisiin ennakoimaan hiililaadun muutoksen aiheuttamia vaikutuksia kiertopölyn laatuun.

Hanasaaren voimalaitoksen blokilla 3 käytettiin SNCR-menetelmän tutkimuksissa huhtikuun 2014 alussa FTIR-mittausta, joka antaa yhtenä tuloksena prosessiin tulevan suolahapon (HCl) pitoisuuden yksikössä ppm. FTIR-mittaus kesti 7.4.2014–15.4.2014. Mittauslaitteisto oli mittauksen ajan vuokrattuna Ramboll Finland Oy:ltä MMEA-projektin aikana, mutta Helsingin Energian voisi olla kannattavaa investoida omiin mittauslaitteistoihin. Kuvaan 7.6 on piirretty FTIR-mittauksista saadut HCl-tulokset ja rikinpoistoon tuleva SO₂-pitoisuus.



Kuva 7.6. Savukaasujen sisältämä HCl-pitoisuus FTIR-menetelmällä mitattuna ja savukaasujen SO₂-pitoisuus ennen rikinpoistoa blokilta 3.

Kuvaajasta nähdään, että 7–9.4.2014 HCl-pitoisuus on ollut korkealla ja lähtenyt siitä sitten laskuun. Tällainen esimittaus olisi hyödyllinen rikinpoistolaitosten hoitajia ajatellen, sillä he pystyisivät ennakoimaan prosessin toimintaa. Rikinpoiston loppulämpötilaa ei tarvitsisi turhaan nostaa korkealle eikä kalkkia kuluisi prosessissa enemmän kuin on tarpeellista. Lisääntynyt kalkin kulutus kasvattaa samalla syntyvän RPT:n määrää, jonka tuotantomäärän vähentämiseen pitäisi pyrkiä.

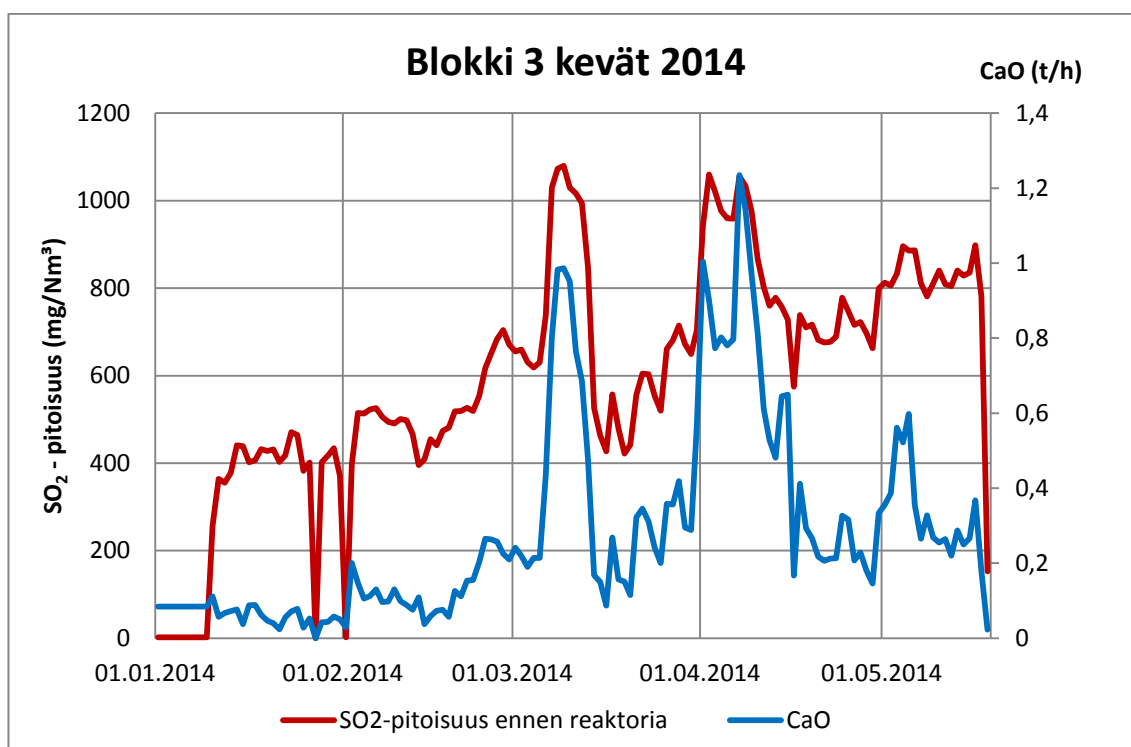
7.3 Kalkin kulutus

Kalkin kulutukseen vaikuttaa osaltaan poltettavan hiilen rikkipitoisuus. Kalkin kulutus suhteessa erotettavaan rikin määrään lisääntyy sitä enemmän mitä korkeampi rikkipitoi-

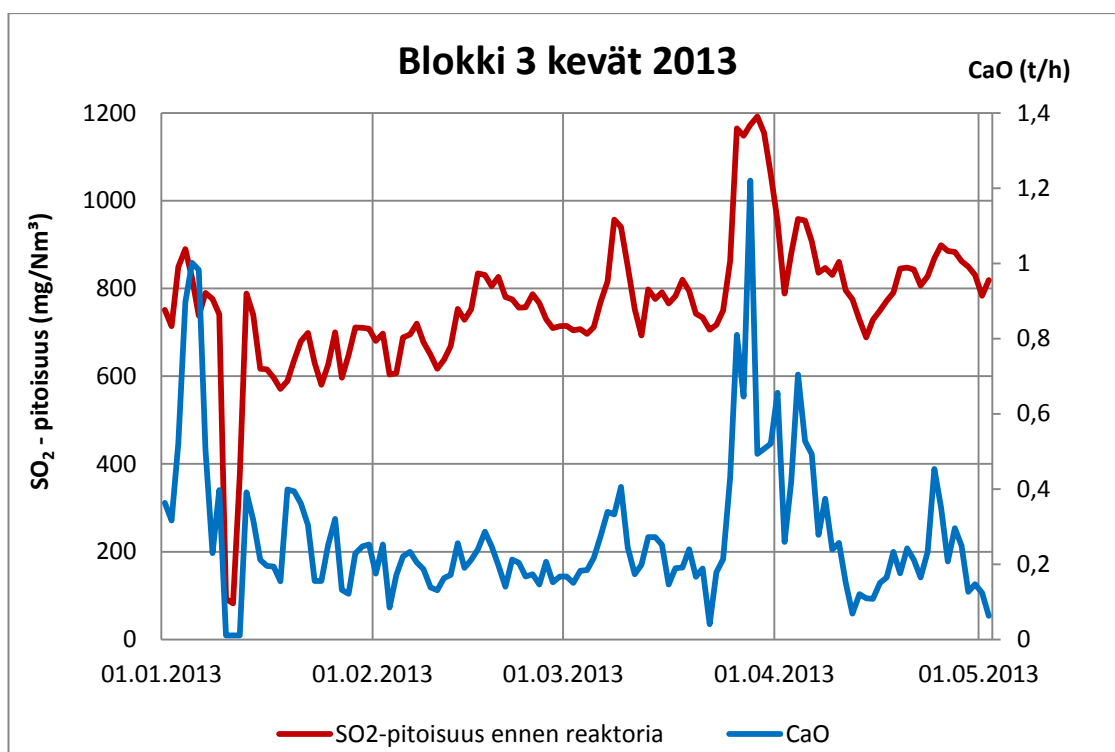
suus hiilellä on. Kalkin käytön hyötysuhde siis pienenee ja lopputuotteessa oleva vapaan alkalin määrä lisääntyy. Rikkipitoisuuden ollessa matala on myös kalkinkäytön hyötysuhde optimaalinen.

Tehtyjen koeajojen aikana oli nähtävissä, että tiukempien päästörajojen puitteissa ajettaessa kalkin kulutus lisääntyy selvästi. Reaktoriin syötettävän kalkkilietteen tilavuusvirtaa säädetään siten, että lietteessä tulee olla Ca(OH)_2 :a riittävä kiintoainemäärä rikkinpoiston reaktioiden tapahtumiseksi. Kuvissa 7.7 ja 7.9 on esitettyä, savukaasujen SO_2 -pitoisuus on vaikuttanut Hanasaassa käytettävän kalkin kulutukseen kevään 2014 aikana. Kuvissa 7.8 ja 7.10 on samat tiedot vuoden 2013 keväältä normaalilta ajalta.

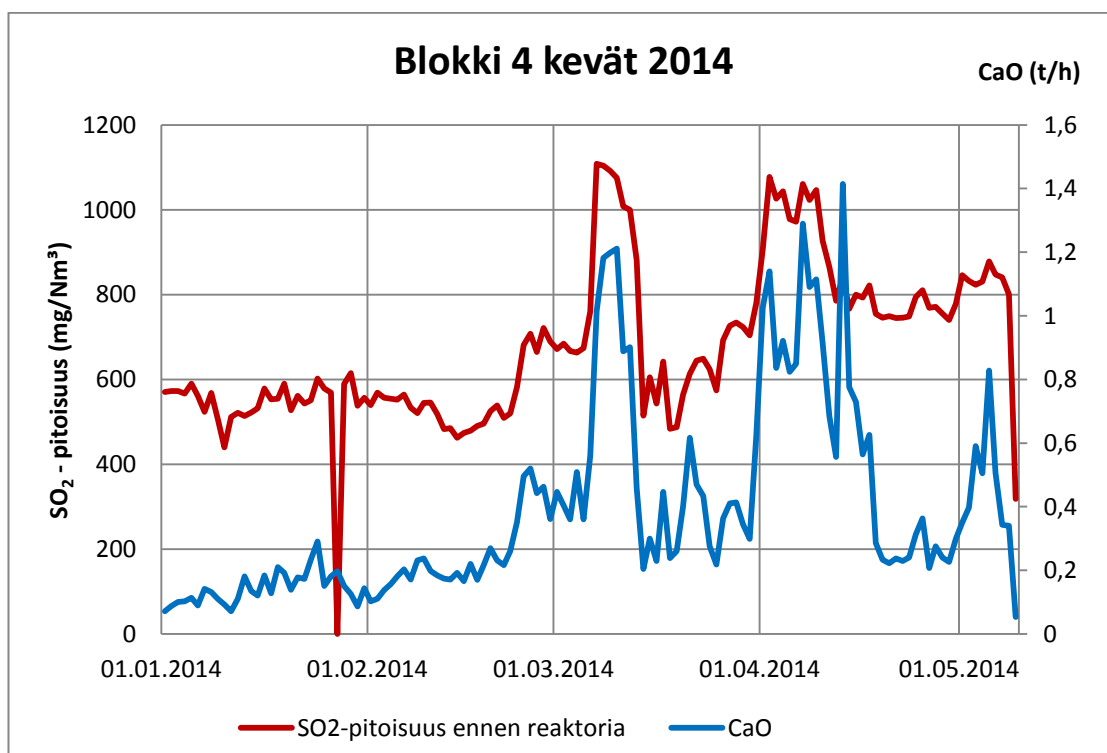
Vuoden 2013 alkupuoli blokilta on hyvä vertailukohde vuoden 2014 koeajojaksoille, sillä 2013 keväällä ajettiin vanhojen päästörajojen mukaisesti. Koeajojen aikana samanlaisen rikkipitoisuuden omaavaa hiiltä poltettaessa oli kalsiumoksidin kulutus 0,4 t/h molemmiin puoliin. Maaliskuun alkupuolella poltettiin puolalaista hiiltä, jolla oli korkea rikkipitoisuus ja tämä näkyikin kuvaajissa kalkinkulutuksen voimakkaana kasvuna.



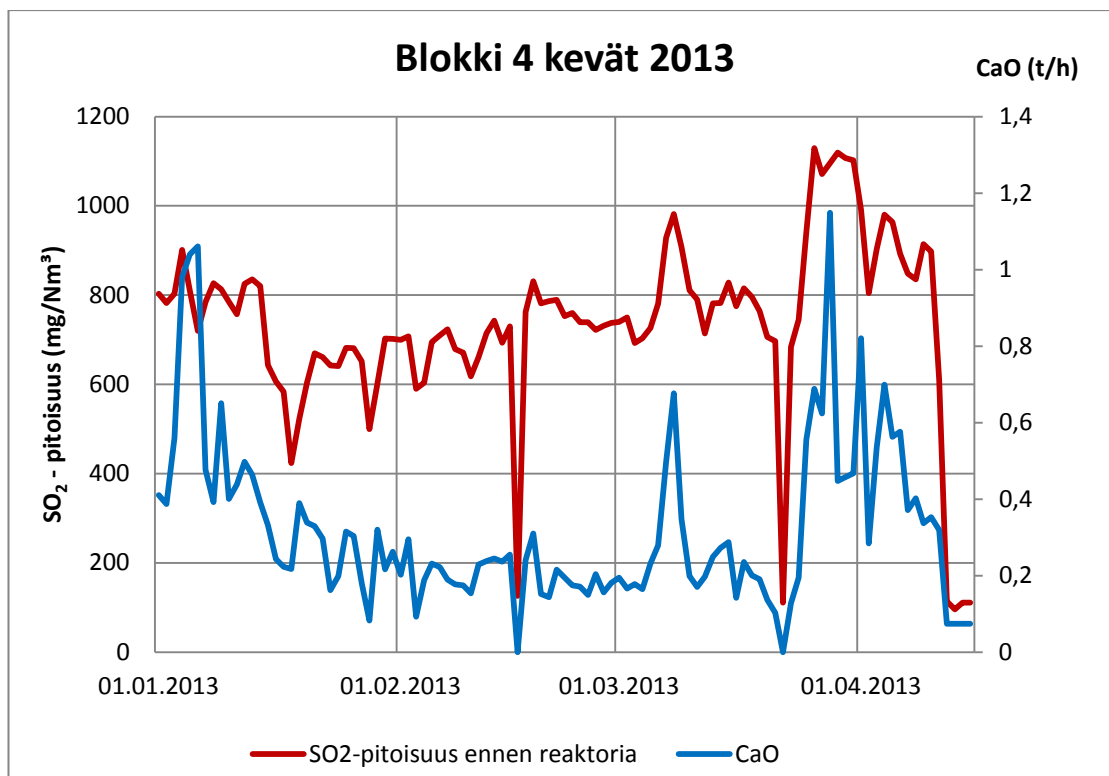
Kuva 7.7. Savukaasujen rikkipitoisuuden vaikutus kalkin kulutukseen, mittausarvot keväältä 2014 Hanasaaren kattilalta K3.



Kuva 7.8. Savukaasujen rikkipitoisuuden vaikutus kalkin kulutukseen, mittausarvot keväältä 2013 Hanasaaren kattilalta K3.



Kuva 7.9. Savukaasujen rikkipitoisuuden vaikutus kalkin kulutukseen, mittausarvot keväältä 2014 Hanasaaren kattilalta K4.



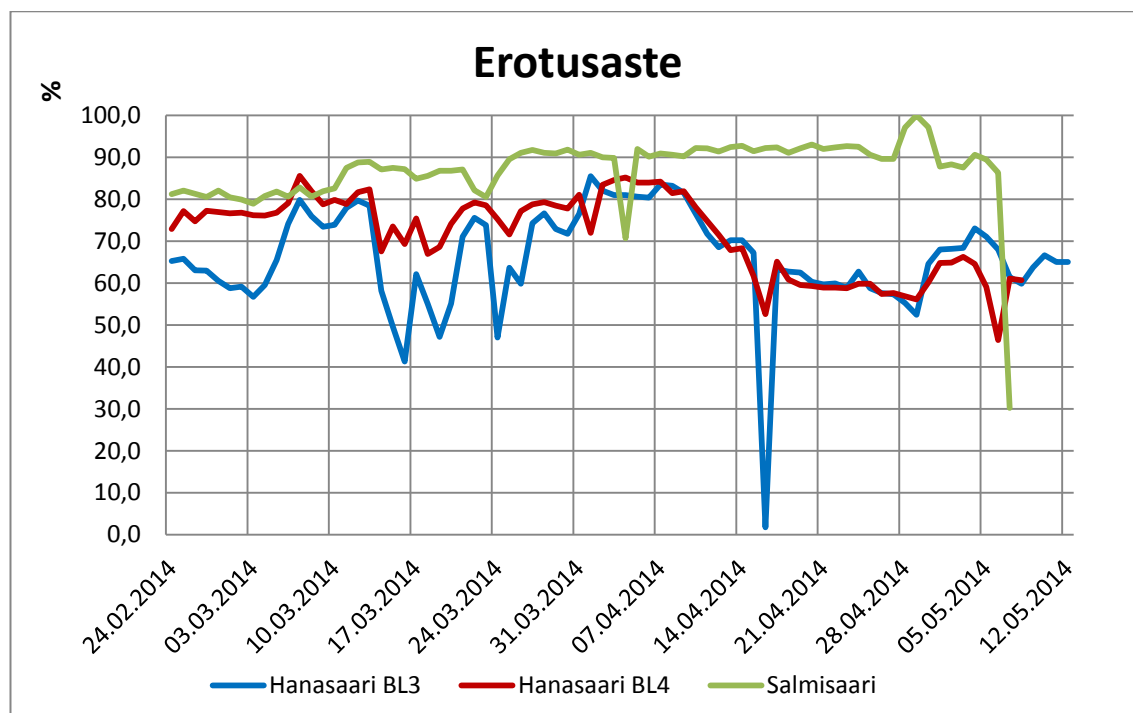
Kuva 7.10. Savukaasujen rikkipitoisuuden vaikutus kalkin kulutukseen, mittausarvot keväältä 2013 Hanasaaren kattilalta K4.

Molemmilla blokeilla poltettiin koko kevään 2014 koeajojen aikana melko matalarikkistä hiiltä, rikkipitoisuuden vaihdellessa välillä 0,2–0,6 %. Hanasaaren koeajojen aikana on kuitenkin ollut huomattavissa kalkin kulutuksen lisääntymistä tavalliseen tilanteeseen verrattuna. Tämä on etenkin nähtävissä koeajojakson alussa maaliskuussa, kun tuorekalkin kulutus kävi muutaman päivän ajan melko korkealla blokilla 4, noin 1,2 t/h. Verrattaessa 4 blokin helmikuuta ja maaliskuuta 2014 keskenään, voidaan nähdä, että kalkin kulutuksen käyrä myötäilee maaliskuisen koeajojakson aikana hiilen rikkipitoisuuden käyrää paljon läheisemmin, kun helmikuussa. Helmikuussa tavallisessa ajotilanteessa kalkin kulutus pysyi melko tasaisena vaihdellen välillä 0,1–0,2 t/h hiilen rikkipitoisuuden pysyessä tasaisena.

Kuvista 7.7 ja 7.9 voi huomata, että huhtikuussa 2014 palattaessa tavalliseen ajotilanteeseen molemmilla Hanasaaren blokeilla, käy kalkin kulutus melko korkealla etenkin kuukauden alussa. Tämä selittyy sillä, että rikinpoiston loppulämpötilaa nostettiin tuolloin korkeammalle. Loppulämpötilan ollessa korkeampi, kuluu myös enemmän kalkkia.

Hanasaaren blokilla 4 ylitti poistuvan SO₂-pitoisuuden päiväkeskiarvo 200 mg/Nm³ rajan kolmena päivänä 9–11.3.2014. Kyseisinä päivinä myös kalkkimaidon kulutus oli korkea, noin 5 m³/h. Ylitykseen oli todennäköisesti suurin vaikuttava tekijä hiililaadun muuttuminen korkeamman rikkipitoisuuden omaavaksi, kuin aiemmin kokeen aikana. Rikinpoistoon tulevan SO₂-pitoisuuden lasiessa takaisin alle 1000 mg/Nm³ ei ylityksiä enää tullut.

Hanasaaren ja Salmisaaren rikinpoistolaitosten erotusasteet keväältä 2014 ovat esitettyinä kuvassa 7.11. Hanasaaren blokilla 3 16.4.2014 näkyvä alhainen erotusasteen arvo johtui rikinpoistolaitoksen ohituksesta. Blokin 3 rikinpoistolaitos ohitettiin MMEA mittauksia varten myös 24.3.2014 ja 26.3.2014, mikä näkyy erotusasteen laskuna kuvaajassa. Salmisaarella piipun SO₂-mittauksessa oli häiriötä koeajon lopulla ja 100 % erotusaste 8.4.2014 johtuu siitä.



Kuva 7.11. Hanasaaren ja Salmisaaren rikinpoistolaitosten erotusasteet keväältä 2014.

Tuorekalkin kulutukseen voidaan siis vaikuttaa kiertopölyn kloridipitoisuuden, hiilen rikkipitoisuuden ja rikinpoiston loppulämpötilan avulla. Näillä on vaikutusta edelleen rikinpoiston lopputuotteen laatuun ja tuotantomäärään. Rikinpoistolaitoksen kiertopölyn kloridipitoisuus vaikuttaa merkittävästi syötettävän tuorekalkin kulutukseen. Kloridipitoisuuden lisääntyessä täytyy tuorekalkkia lisätä prosessiin myös, mutta prosessi kuitenkin tarvitsee riittävästi kloridia, jotta rikinpoiston kemia toimii kunnolla.

Kalkkitalouden kannalta tulisi prosesseissa rajoittaa kloridin määrä alle 5 % ja rikinpoiston loppulämpötila alle 80 °C. Kalkkimaidon kulutus oli Hanasaaren laitoksella yli 80 °C loppulämpötiloissa keskiarvollisesti 4 t/h, välillä jopa yli 5 t/h. Tasalaatuista hiiltä poltettaessa, kun verrataan kalkin kulutuksen päiväkeskiarvoja 5 t/h ja 3 t/h, ovat kalkin kustannukset aiemmassa tapauksessa lähes puolta suuremmat kuin jälkimmäisessä tapauksessa. Pitämällä loppulämpötila matalampana saavutettaisiin siis selkeitä rahallisia hyötyjä.

7.4 Vesijohtoveden käyttö

Hanasaaren rikinpoistolaitos käyttää sekä vesijohtovettä että merivettä. Kevään 2014 koejakson aikana oli käytössä pitkälti merivesi. Salmisaaressa käytettiin puolestaan pelkkää vesijohtovettä. Rikinpoistolaitoksella ei tarvitse maksaa lähtevästä jätevedestä, joten sitä ei tarvitse ottaa kustannusarvioissa huomioon.

Molemmilla laitoksilla vuoden 2014 vesijohtoveden kulutuksen määrää mittaavat mittarit antavat lukemaksi liian pieniä määriä ja Hanasaaren vesijohtoveden kulutus on säännönmukaisesti vähentynyt mittarin mukaan vuosi vuodelta. Näin ollen vuoden 2014 kevään laskelmissa on käytetty aiempien vuosien vedenkulutuksen keskiarvoja.

Kokeiden perusteella Salmisaaressa ei kannata siirtyä meriveden käyttöön ajettaessa tiukempien rajojen puitteissa ja poltettaessa sen kaltaista hiiltä kuin kevään 2014 on poltettu. Vesijohtovettäkin käyttämällä ylittyi kloridipitoisuuden 5 % raja (ks. kappale 6.3). Todennäköisesti merivettä käytettäessä olisi lopputuotteen kloridipitoisuus kohonnut vieläkin enemmän kuin nyt. Liika kloridipitoisuus tekee kiertopölystä vaikeasti käsiteltävää ja sitä alkaa helposti kertyä laitteistoihin. SaRi:lla kuluneen vesijohtoveden kustannukset eivät myöskään ole kovin suuret, joten vesijohtoveden käytön lisäämisellä ei suurta vaikutusta kokonaiskustannuksiin olisi.

7.5 Rikinpoistoprosessin muutokset

Hanasaaren rikinpoistolaitoksella kiertopölyn ja sekoitussäiliöiden yhteydessä jo aieminkin tiedossa ollut ongelma havaittiin jälleen koeajojen aikaan. Syötettävä kiertopölyn määrä kasvaa, kun molempia blokkeja aletaan ajaa alhaisten SO₂-päästörajoiden mukaisesti ja yksi sekoitussäiliö ei ole riittävän suuri kasvaneelle pölymäärälle. Ulos tulvi-va kiertopöly kuormittaa voimalaitoksen käyttöhenkilökuntaa tarpeettomasti. On hyvin todennäköistä, että pelkästään pölyn hallittu lähetys pölylähettimiltä ei riitä poistamaan ongelmaa, kun molempia blokkeja ajetaan tiukkojen rajojen puitteissa. Laitoksella aloitettava pelletin poltto toki hieman vähentää rikinpoistossa tarvittavaa lietemäärää päästöjen rikkipitoisuuden pienentyessä hieman, mutta mikäli pellettiä poltetaan vain 5-10 %, ei vähennys luultavasti ole riittävä.

Yksi ratkaisu ongelmaan olisi, että molemmat sekoitussäiliöt otettaisiin jatkuvaan käyttöön, jolloin lisääntynyt lietemäärä teoriassa mahtuisi säiliöihin. Nykyisellään kiertopölysiilosta sekoitussäiliöön syötettävä pöly kulkee ruuvien kautta, joka pyörii vain yhteen suuntaan, ohjaten pölyn vain jompaankumpaan sekoitussäiliöön. Toinen säiliö on siis vain varasäiliönä, siltä varalta jos toinen sekoitussäiliö on poissa käytöstä. Kokeiden aikana tosin pölymäärä on niin suuri, että sitä vuosi ruuvilta myös käytössä poissa olevaan sekoitussäiliöön.

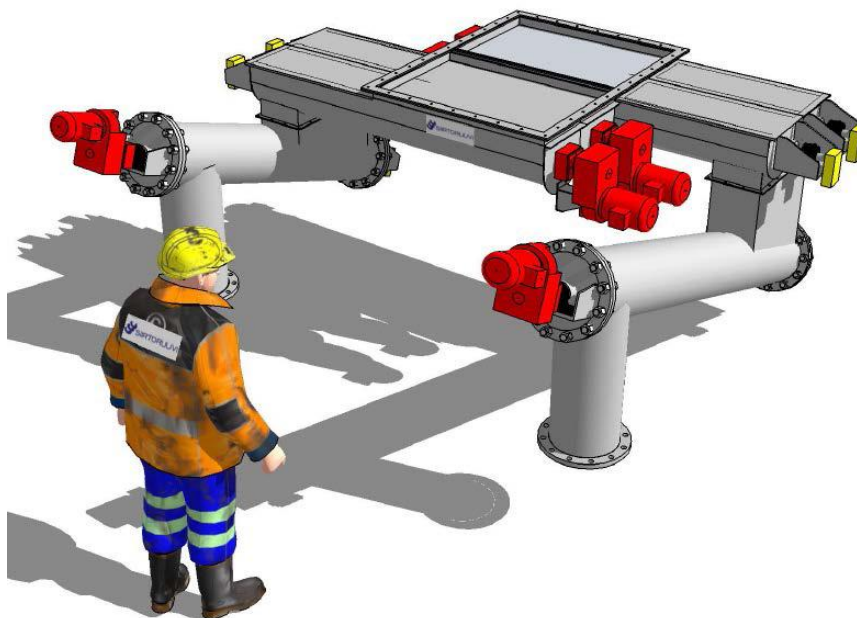
Järjestely, jossa molemmat säiliöt olisivat käytössä, mahdollistaisi sekoitussäiliöiden täyttöasteen pienenemisen, jolloin nesteen roiskuminen kiertopölyn syöttöputkeen vältettäisiin. Putki ei myöskään holvaantuisi yhtä helposti kuin tällä hetkellä. Holvaantumisella tarkoitetaan sitä, kun kiintoaineen virtaama ulos siilosta estyy osittain tai ko-

konaan ja kiintoaineesta muodostuu niin sanottuja holveja, jotka pysyvät erittäin hyvin koossa. Kiertopölyjärjestelmän annostelujärjestelmän ruuvikuljettimien uusimista on selvitelty kevään 2014 aikana kahden eri ulkoisen toimittajan kanssa ja useampia alan toimijoita on tarkoitus kilpailuttaa asian suhteen.

Ensimmäinen suunnitelma ja tarjous ongelman ratkaisemiseksi on jo saatu. Suunnitelman mukainen uusi syöttöjärjestelmä vaatisi purkavia ruuveja vähintään kaksi kappaletta, jotta kiertopölyn syöttö ei katkeaisi eikä purkuaukko holvaantuisi umpeen. Vanhaa purkuruuvia ei voitaisi tässä tapauksessa hyödyntää, koska annostelua ei pystytäisi säätämään kahteen virtaan tai jakamaan täysin tasaisesti. Ruuvien kapasiteetin nosto ei myöskään välttämättä ole mahdollista.

Uusi ruuvipohja muodostuisi kahdesta eri sekoitussäiliöihin syöttävästä linjasta, joissa molemmissa olisi kaksi säiliön purkuruuvia. Järjestelyn etuna olisi kiertopölysiilon sulkuluukkujen hyödyntämismahdollisuus sekä se, että eri linjat voitaisiin sulkea tarvittaessa huollon ajaksi. Ruuvit syöttäisivät pölyä poikittain verrattuna nykyjärjestelmään, joka mahdollistaa ruuvien suuremman halkaisijan käytön. Tällöin yhdellä linjalla ajettaessa holvaantumisriski olisi nykyistä vähäisempi.

Varsinaisille syöttöruuveille kiertopöly ohjattaisiin ruuvipohjan annosteluruuveilta, jotka asennettaisiin nousevaan kulmaan. Tällä ehkäistäisiin kiertopölysiilon hallitsematon purkautuminen sekoitussäiliöihin. Kuvassa 7.10 on nähtävillä havainnekuva mahdollisesta toteutustavasta uudelle ruuvikuljettimelle.



Kuva 7.12. Havainnekuva uudesta kiertopölyn annostelujärjestelmän ruuvikuljettimesta.

Kustannuksiltaan edellä esitellyn kaltainen modifiointi tulisi olemaan alustavien arvioiden mukaan noin 70 000 € + alv. Muutostyö on kuitenkin kannattavaa tehdä, jotta tulevaisuudessa vältytään sekoitussäiliöihin liittyviltä vaikeuksilta. Muutostyö toteutetaan todennäköisesti vuoden 2015 vuosihuollossa.

Hanasaaren rikinpoistolaitoksen toimintaa kuormittaa myös vanha sähkösuodatin. Uusi sähkösuodatin olisi kuitenkin kallis investointi. Tällä hetkellä, kun ei vielä ole tehty päätöstä Hanasaaren voimalaitoksen toiminnan jatkumisesta, ei ole tietoa uusi-taanko Hanasaaren sähkösuodatin jossain vaiheessa.

Salmisaaren lopputuote on laadultaan melko hyvää ja esierotuksen parantamisella ei saavutettaisi merkittäviä etuja RPT:n tuotantoa ajatellen. RPT on pysynyt kevään 2014 koeajojen aikana samanlaisena kuin aiemminkin. Rikinpoistoprosessin muuttaminen esimerkiksi märkämenetelmäksi olisi teoriassa mahdollista Salmisaassa, mutta se olisi haastavaa. Pellettikuormia Salmisaaren laitosalueelle ajavat rekat tulevat vaatimaan tilaa, jota Salmisaassa jo nykyisellään on vähän. Märkä rikinpoistomenetelmä veisi tästä tilasta oman siivunsa, joten rikinpoistomenetelmän muuttamisen etuja ja haittoja tulee punnita tarkkaan.

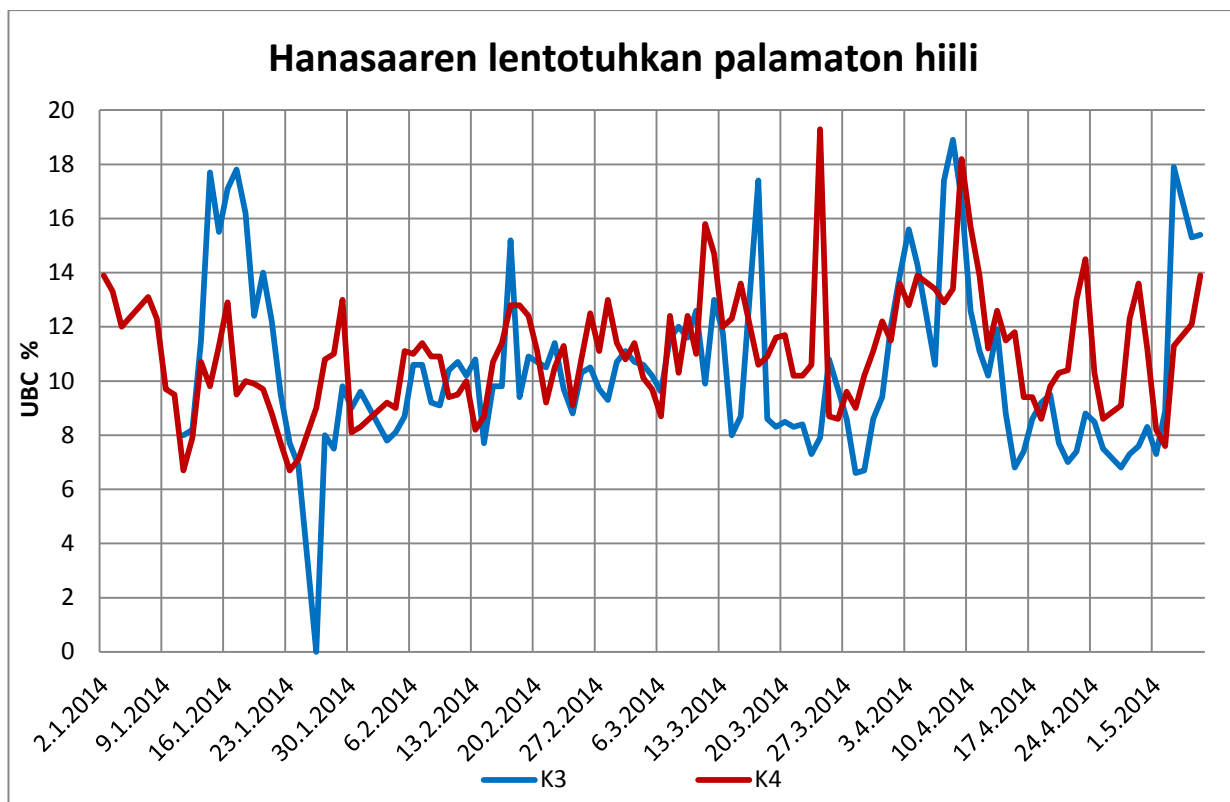
LCP-BREF kuitenkin määrittelee määrän rikinpoistomenetelmän suuren mittakaavan voimalaitoksille taloudellisesti kannattavimmaksi käyttöä. Määrän rikinpoistomenetelmän rakennuskustannukset ovat korkeat, mutta käytönaikaiset kustannukset matalat. Hankaluutena määrässä rikinpoistomenetelmässä on jätevesien vaatima suuri tila ja käsittelyn tarve. Tällä hetkellä, kun puolikuivalla rikinpoistomenetelmällä päästään sallittuihin päästörajoihin, ei menetelmän muuttaminen märkämenetelmäksi ole ajankohtaista. Tulevaisuudessa asia voi kuitenkin vaatia uudelleen tarkastelua.

Typen oksidien poistomenetelmien muuttamista urearuiskutuksella tapahtuvaksi Hanasaassa ja katalyyttiseksi Salmisaassa ja näiden vaikutusta RPT:n laatuun tulevaisuudessa ei osata varmaksi ennustaa vielä. Myöskään tulevaisuudessa mahdollisesti molemmilla laitoksilla aloitettavalla pelletin seospoltolla 40 % pellettiä hiilen sekaan syöttämällä saattaa olla vaikutuksia rikinpoistoon, joita on tässä vaiheessa vielä hankalaa ennustaa. 40 % pellettiä hiilen seassa pienentää kyllä rikinpoistossa poistettavan rikin määrää, mutta ei suoraan 40 prosentilla.

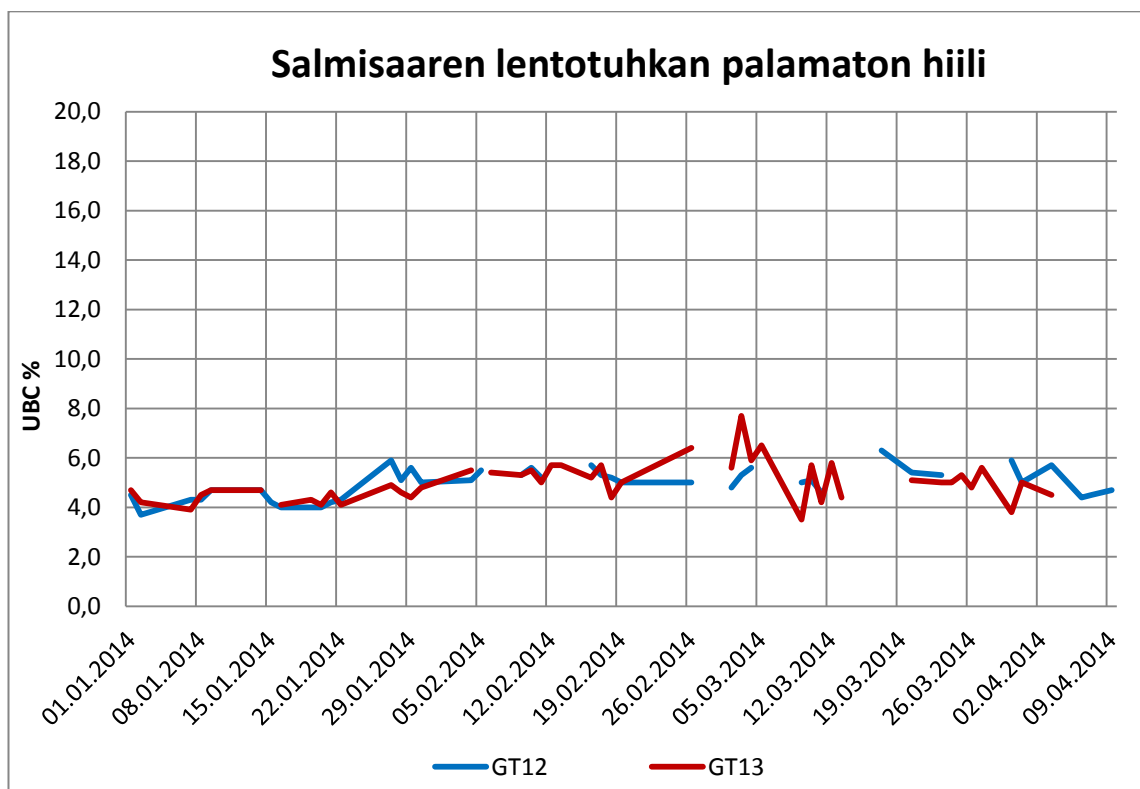
7.6 LT/RPT-seoksen loppusijoituksesta

Lainsäädäntö edellyttää vähentämään toiminnassa syntyvän jätteen määrää. Mitä vähemmän jätettä syntyy ja mitä vähemmän sitä sijoitetaan kaatopaikalle, sitä vähemmän yritykselle jää maksettavaa jäteveroa. Jäteverot muodostavat huomattavan osan Helsingin Energian lopputuotteiden käsittelykustannuksista. Tavoitteena olisikin vähentää loppusijoitettavaa lentotuhkan määrää, sillä lentotuhkalle on tällä hetkellä enemmän jatkokäyttökohteita.

Ajateltaessa LT/RPT-seoksen loppusijoittamismahdollisuuksia suhteessa 50 % lentotuhkaa ja 50 % RPT:tta, pitää RPT:n laadun lisäksi huomioida lentotuhkan laatu. Kaatopaikka-asetuksen mukainen raja LT/RPT seoksen sisältämälle TOC:n määrälle on 5 %. Kuvissa 7.13 ja 7.14 on nähtävillä molempien laitosten lentotuhkan sisältämä prosenttimäärä palamatonta hiiltä (UBC, unburned carbon). Hanasaaren blokin 3 näytettä ei analysoitu 26.1.2014, minkä seurauksena kuvaaja on nollassa kyseisenä päivänä.



Kuva 7.13. Hanasaaren lentotuhkan sisältämä palamaton hiili.



Kuva 7.14. Salmisaaren lentotuhkan sisältämä palamaton hiili.

Salmisaassa ei lentotuhkanäytteitä analysoitu kevään aikana aivan jokaisena päivänä ja tämän vuoksi kuvaajat ovat katkonaiset. Salmisaaren lentotuhkan palamattomien

määrästä saa tästä huolimatta hyvän käsityksen. GT12 ja GT13 ovat pölylähettämiä, joista näytteet on kerätty.

Kuvaajista nähdään selvästi, että Hanasaaren voimalaitoksen lentotuhka sisältää paljon enemmän palamatonta hiiltä kuin Salmisaaren. Salmisaarella palamattomien määrä lentotuhkassa vaihteli kevään 2014 aikana välillä 3,7–7,7 %. Hanasaarella palamattomien määrä vaihteli enemmän, ollen kuitenkin kokoajan molemmilla blokeilla yli 6 %. Keskiarvot lentotuhkan palamattoman hiilen määrälle olivat 10,4 % blokilla 3 ja 11,1 % blokilla 4.

Syy siihen, miksi Salmisaarella ja Hanasaarella on lentotuhkan sisältämässä palamattoman hiilen määrässä suuria eroja, löytyy ensisijaisesti kattilan palamisolosuhteista. Hanasaaren kattilassa poltto tapahtuu etuseinäpolttimilla kun Salmisaarella puolestaan on tangentiaalinen nurkkapoltto. Nurkkapolton ansiosta hiilipöly palaa tasaisemmin ja pyörteisesti, jolloin mahdollisilla epätasaisuuksilla pölyn lähteyksissä hiilimyllyiltä ei ole niin suurta merkitystä kuin etuseinäpoltton tapauksessa. Hanasaaren kattilat ovat lisäksi kooltaan pienempiä, kuin Salmisaaren kattila. Palamisilman syötön huonolla säädettävyydellä on myös enemmän vaikutusta Hanasaaren kattiloissa, kuin Salmisaarella.

Tilannetta voisi helpottaa, mikäli Hanasaarellakin olisi käytössä poltossa ylälämpö samoin kuin Salmisaarella. Polttoon menevän hiilen laadulla on lisäksi tässäkin asiassa merkitystä. Kuten jo aiemmin todettu, Hanasaarella ei pystytäkään yhtä hyvin ennakkoimaan mitä kivihiililaatua polttoon menee, joten polton säätely on senkin vuoksi hankalaa. Hiilen laadun tietämisestä ennakkoon olisi hyötyä tässäkin asiassa.

Hanasaaren sähkösuodattimen erotuskyky ei ole myöskään ideaali ja HaRi:n lopputuotteeseen päätyykin lentotuhkasta inerttejä ainesosia. Rikkinpoistoprosessiin päätyessään inertit aineet lisäävät kalkin kulutusta, sillä ne vähentävät vapaan alkalipitoisuutta kiertöpölyssä. RPT:n tuotantomäärä kasvaa tämän seurauksena. Inertit ainesosat myös kuluttavat prosessin laitteistoa turhaan. Investointi-intoa uuteen sähkösuodattimeen hidastaa se, ettei tiedetä vielä varmaksi jatkaako Hanasaaren voimalaitos toimintaansa. Vaikka Vuosaaren monipolttoainevoimalaitos päätettäisiin rakentaa, käy Hanasaaren voimalaitos silti useita vuosia, joten uuteen sähkösuodattimeen investoimista kannattaa harkita vakavasti.

Lentotuhkan sisältämän palamattoman hiilen määrän hallinnalla pystytään vaikuttamaan sivutuotteiden käsittelykustannuksiin. Salmisaaren lentotuhkan palamattoman hiilen määrä ei tulosten perusteella olisi este 50:50 suhteen loppusijoitukselle, sillä palamattomien määrä saisi olla 10 %. Salmisaaren kattilassa palaminen tapahtuu täydellisemmin ja välittömiä parannuskohteita ei tullut ilmi. Hanasaarella sen sijaan palamattoman hiilen määrä heilahteli huomattavasti ja oli ollen lähes 20 % ajoittain. Mikäli Hanasaarestakin halutaan LT/RPT-seosta loppusijoittaa kaivostäyttöön suhteessa 50:50, tulee palamattomien määrää lentotuhkassa saada pienennettyä.

Kaatopaikkakelpoisuuteen vaikuttavat lisäksi LT/RPT-seoksen sulfaatti- ja kloridipitoisuudet, joiden raja-arvoja käsiteltiin kappaleissa 2.6 ja 4.8. Raja-arvot ovat kloorille (Cl) 15 000 mg/kg ja sulfaatille 20 000 mg/kg. Ravistelutestien perusteella

sulfaattipitoisuuden kanssa ei todennäköisesti tulisi ongelmia seossuhteen ollessa 50:50, sillä Hanasaaren 60:40 seoksesta laskettujen arvojen keskiarvoksi tuli 5248 mg/kg ja Salmisaaren 2506 mg/kg. Korkein yksittäinen arvo sulfaattipitoisuudelle oli Hanasaarella 12 610 mg/kg lokakuussa 2013. Siitäkin on vielä paljon matkaa ennen 20 000 mg/kg raja-arvoa sulfaatille vaikka RPT:n määrä seoksessa kasvaisi 25 % verrattuna nykyiseen.

Klooripitoisuuden raja puolestaan saattaa aiheuttaa haasteita etenkin Hanasaarella. Keskiarvo 60:40 seokselle on 12 397 mg/kg ja raja ylitettiin blokilla 4 sekä joulukuussa 2013 että maaliskuussa 2014. Blokilla 3 raja ylittyi maaliskuussa 2014, ollen 16 255 mg/kg. Suurin yksittäinen arvo blokilla 4 joulukuussa oli 15 525 mg/kg ja maaliskuussa 16 542 mg/kg. Jos ajatellaan, että RPT:n määrä seoksessa kasvaa 25 % (arvosta 40 % arvoon 50 %) ja kloorin määrä kasvaisi samassa suhteessa, tulisi keskiarvosta 15 496 mg/kg. Yksittäisten kuukausien kohdalla rajan ylityksiä tulisi siis todennäköisesti nykyistä enemmän.

Salmisaarella 60:40 seoksen keskiarvoksi kloorille tuli 10 330 mg/kg ja korkein yksittäinen arvo oli 14 815 mg/kg. 25 % lisäys nostaisi keskiarvon arvoon 12 912 mg/kg ja korkeimman yksittäisen määrän arvoon 18 518 mg/kg. Salmisaaren 50:50 LT/RPT-seoksen klooripitoisuudet siis alittuisivat todennäköisemmin kuin Hanasaaren tapauksessa. Kuitenkin yksittäisiä ylityksiä voi tulla myös Salmisaaren LT/RPT-seossuhteen ollessa 50:50.

7.7 Biopolttoaineista

Vuoden 2014 koeajojen perusteella pieni prosenttiosuus pellettiä hiilen seassa ei vaikuta lopputuotteen laatuun juurikaan. Blokilla 3 suoritettavat lyhytkestoiset pellettikokeet eivät vaikuttaneet rikinpoistolaitoksen toimintaan haittaavasti. Kokeilla eri pellettilaaduilla ei ollut myöskään merkitystä rikinpoiston toiminnan kannalta.

Jatkuvakestoisen pellettipolton aloittaminen laitoksilla saattaa tuoda muutoksia laitosten tuottamiin sivutuotteisiin. Etenkin 40 % bio-osuudella voi olla suuriakin vaikutuksia, mutta kaikkia niistä on vaikea tällä hetkellä ennustaa. Laitetoimittaja on tehnyt tarkastuslaskelman savukaasun koostumuksen ja määrän muutoksista ja niiden ei pitäisi vaikuttaa merkittävästi prosessin toimintaa. Molemmilla laitoksilla laitteistot täyttävät edellytykset asianmukaiselle toiminnalle. (ÅF Consult Ltd 2014a ja 2014 b)

Suurella prosenttiosuudella pellettiä poltettaessa letkusuodattimien suodatusnopeus kasvaa alkuperäistä suuremmaksi. Suodatuspinta-alaa voidaankin tämän vuoksi joutua lisäämään, sillä alkuperäisessä mitoituksessa painehäviö kasvaa liian suureksi. Järjestelmältä edellytettävä erotusaste kuitenkin pienenee mitä enemmän pellettiä on hiilen seassa, minkä seurauksena myös kalkinkulutus alenee jonkin verran. Tämä vaikuttaa edelleen letkusuodattimilla erotettavan lopputuotteen määrään vähentävästi, jolloin myös letkujen puhdistustarve vähenee. (ÅF Consult Ltd 2014a)

Hanasaaren voimalaitoksella on tällä hetkellä pidennetty kolmasosa suodatinletkuista. Vielä lisää letkuja voidaan pidentää, kun pohjasuppilon seinämiin jätettyä etäi-

syyttä pienennetään. Toinen tapa letkujen pidentämiseen olisi letkusuodattimen korkeuden kasvattaminen. (ÅF Consult Ltd 2014a)

7.8 Hyötykäyttökohteet nyt ja tulevaisuudessa

Rikinpoiston lopputuotteen tuotantomäärien vähentämisen ohella mahdollisten hyötykäyttökohteiden löytäminen tulee tulevaisuudessa nousemaan entistä tärkeämmäksi osa-alueeksi. Viime vuosina hyötykäyttäminen on ollut hyvin vähäistä. Muutamia satoja tonneja on hyödynnetty muun muassa maamassojen stabilointitarkoitukseen.

Rikinpoiston lopputuotteen hyötykäytössä on huomioitava, että käytön tekninen toteutettavuus pystytään osoittamaan ja käytöstä ei aiheudu haittaa ympäristölle ja terveydelle. Maarakennukseen tarvitaan paljon mineraaliainesta, joten sivutuotteiden hyötykäytön edellytykset ovat sillä saralla hyvät. Lentotuhkaa ja RPT:tä maarakentamisessa käyttämällä voidaan korvata luonnon kiviaineksia. RPT:n sisältämät liukoiset kloridit ja sulfaatit kuitenkin rajoittavat RPT:n käyttömahdollisuuksia maamassatäytössä. RPT:n laatua parantamalla voitaisiin mahdollisesti lisätä RPT:n hyötykäyttöä.

Yksi mahdollinen tapa muuntaa RPT:tta paremmin hyötykäytettävään muotoon olisi RPT:n puhdistaminen tekniseksi kipsin anhydridiksi. Kipsiä tuotetaan kuitenkin nykyään maailmanlaajuisesti yli kysynnän, joten tämä vaihtoehto ei ole kannattava. Puhdistusjärjestelmiin investoiminen ei siis ole järkevää.

8 YHTEENVETO

Helsingin Energian voimalaitosten toimintaympäristö on muuttumassa merkittävästi lähivuosina. Tulevaisuudessa voimaan tulevat päästöt ja koskevat uudet säädökset ja yhtiön omat tavoitteet tulevaisuuden toiminnalle edellyttävät muutoksia voimalaitosprosesseihin. Rikkinpoistolaitoksen toiminnan seurauksena syntyvä rikkinpoiston lopputuote luokitellaan jätteeksi, jonka kaatopaikkasijoitus on jäteveron alaisuudessa. Tässä työssä on käyty läpi Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten toimintaa, toimintaa säätelevää lainsäädäntöä, rikkinpoistolaitoksilla suoritettuja koeajojaksoja ja rikkinpoistolaitosten toiminnan taloudellisuutta.

EU:n teollisuuspäästädirektiivi 2010/75/EU tiukentaa suurten polttolaitosten päästövaatimuksia tullessaan voimaan vuonna 2016. Hanasaaren voimalaitoksen tämän hetkinen rikkidioksidipäästöraja on 600 mg/Nm^3 ja Salmisaaren 400 mg/Nm^3 . Vuosien 2016-2020 siirtymäkauden jälkeen raja alenee molemmilla laitoksilla arvoon 200 mg/Nm^3 . Direktiivin lisäksi useat kansalliset lait ja asetukset säätelevät kivihiililaitosten toimintaa.

Vuoden 2010 lopusta alkaen on Helsingin Energian voimalaitosten sivutuotteiden kaatopaikkasijoitus ollut veron alaista. Jäteveron määrä on 50 €/t , joka on suuri menoerä. Lisäksi sivutuotteiden kuljetus ja käsittely aiheuttaa kustannuksia. Sivutuotteiden syntymismäärän vähentäminen ja mahdollisten hyötykäyttökohteiden löytäminen ovat tärkeässä osassa rikkinpoistolaitoksen taloudellisuuden parantamisessa.

Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksilla suoritettiin koeajojaksot kevään 2014 aikana. Koeajojaksojen tarkoituksena oli tutkia, miten laitosten ajaminen nykyisellään onnistuu tulevien tiukempien päästörajojen puitteissa. Salmisaaren voimalaitoksella koeajot sujuivat ilman ongelmia ja välittömiä investointikohteita ei tullut esiin.

Hanasaassa puolestaan koeajojakso osoittautui vastoin ennako-odotuksia haasteelliseksi. Prosessiin ollaan suunnittelemassa modifiointeja, jotka tulevat tekemään päästörajoihin pääsyn tulevaisuudessa nykyistä helpommaksi. Kiertopölyjärjestelmän sekoitussäiliöiden muutokset toteutetaan todennäköisesti vuoden 2015 vuosihuollon aikana. Myös prosessin säätö ja laitoksella poltettava hiili ovat Hanasaassa suuressa osassa rikkinpoistolaitoksen toiminnan taloudellisuutta ajatellen.

Lentotuhkan ja rikkinpoiston lopputuotteen seoksen sijoittamista siten, että molempia aineita olisi loppusijoitettavassa seoksessa 50 %, ei tällä hetkellä onnistuisi Hanasaassa. Prosessiin tulee tehdä parannuksia, jotta rajoittavat tekijät saataisiin siellä lentotuhkasta ja RPT:stä sallittuihin lukemiin. Haasteita tähän tuo epävarmuus Hanasaaren voimalaitoksen toiminnan jatkamisesta ja suurten parannusinvestointien tekemisen kannattavuus.

Koeajojakson aikana ei Salmisaassa poltetu ollenkaan pellettiä, joten sen aiheuttamia muutoksia prosessiin ja sivutuotteisiin on vaikea ennustaa. Etenkin jos Salmisaassa lähdetään polttamaan hiilen seassa 40 % pellettiä, voivat muutokset olla suuriakin. Salmisaaren voimalaitos jatkaa toimintaansa, vaikka uusi monipolttoainevoimalaitos rakennettaisiin Vuosaareen, joten Salmisaaren voimalaitosprosessin toimivuuteen kannattaa panostaa.

Helsingin Energian Kohti hiilineutraalia tulevaisuutta- kehitysohjelman ensimmäinen vaihe on jo pitkällä ja Hanasaaren sekä Salmisaaren voimalaitoksilla aloitetaan pelletin poltto vuoden 2014 aikana. Kehitysohjelma sisältää selvityssuunnitelman, jossa tutkitaan kahta tulevaisuuden skenaariota - uuden monipolttoainevoimalaitoksen rakentamista tai nykyisten voimalaitosten mukauttamista suuren biomassaosuuden polttoon. Kehitysohjelman toteutuksen toisessa vaiheessa toteutetaan toinen edellä mainituista vaihtoehtoista.

Salmisaassa onnistuisi ravistelutestien perusteella LT/RPT-seoksen sijoittaminen suhteessa 50:50, jos tarkasteltaisiin vain tuloksia lokakuusta 2013 helmikuulle 2014. Sallitut RPT:n sisältämien liukoisten aineiden raja-arvot sekä lentotuhkan palamattoman hiilen määrä asettuisivat kyseisten kuukausien tulosten hyvin todennäköisesti sallittuihin arvoihin. Maaliskuussa 2014 kloridipitoisuus 60:40-seoksessa kuitenkin nousi lähes raja-arvoon 15 000 mg/kg ja siihen perustuen 25 % RPT:n määrän kasvu seoksessa nostaisi kloridipitoisuuden yli sallitun rajan.

Molemmilla laitoksilla siis 50:50-seossuhde osoittautui haasteelliseksi. Laboratorioanalyysija 50:50-seoksesta ei vielä ole tehty, joten niiden suorittaminen olisi seuraava askel. Pelletin polttaminen suurella prosenttiosuudella hiilen seassa voi tulevaisuudessa muuttaa sivutuotteiden koostumusta, jolloin tarvinnnee tehdä uudet ravistelutestit.

Suurin säästöpotentiaali löytyy lentotuhkan ja RPT:n kaatopaikkasijoitusmaksuista. Kaatopaikkasijoitettavan jätteen määrää vähentämällä saataisiin huomattavia säästöjä jäteveromaksuihin. Jos seossuhde saataisiin tavoiteltuun 50:50-suhteeseen, pienenisivät kustannukset selvästi.

Tulevaisuudessa rikinpoiston lopputuotteen kaatopaikkasijoittamisen lisäksi entistä tärkeämpään rooliin nousee hyötykäyttökohteiden löytäminen. RPT:n laatua parantamalla sitä pystyttäisiin nykyistä paremmin hyödyntämään esimerkiksi maanrakennuskohteissa. Hyötykäyttöä lisäämällä saataisiin kaatopaikalle vietävän jätteen määrää vähennettyä ja sitä kautta tulisi säästöjä kuljetus- ja veromaksuissa.

LÄHTEET

EU. 2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/75/EU. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:FI:PDF>

EU. 2011. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 305/2011. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:FI:PDF>

FINLEX. 2014a. Jätelaki. [WWW] [Viitattu: 24.1.2014] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4telaki>

FINLEX. 2014b. Jäteverolaki. [WWW] [Viitattu: 24.1.2014] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=j%C3%A4teverolaki>

FINLEX. 2014c. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista. [WWW] [Viitattu: 1.4.2014] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

FINLEX. 2014d. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. [WWW] [Viitattu: 24.1.2014] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

FINLEX. 2014e. Ympäristönsuojelulaki. [WWW] [Viitattu: 24.7.2014] Saatavissa: [http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527?search\[type\]=pika&search\[pika\]=ymp%C3%A4rist%C3%B6nsuojelulaki#Pidp6136384](http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527?search[type]=pika&search[pika]=ymp%C3%A4rist%C3%B6nsuojelulaki#Pidp6136384)

Fläkt. 1984. Salmisaaren rikinpoistolaitos, käyttäjän kansio.

Fläkt. 1991. Hanasaaren B-voimalaitos rikinpoistolaitos, käyttäjän kansio.

Grönroos, S. 2013. Puupelletin seospoltto hiilipölyä polttavassa voimalaitoksessa. Espoo. Diplomityö, Aalto-yliopisto. 81 s.

Helsingin Energia, Salmisaaren rikinpoistolaitos –esite.

Helsingin Energia. 2002. Helsingin voimalaitokset –esite.

Helsingin Energia. 2009–2013. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten ympäristönsuojeluraportit.

Helsingin Energian internet-sivut. 2014.

Helsingin Energian intranet-sivut. 2014.

Häyrinen, A. 2012. Salmisaaren voimalaitokset – Yleiskuvaus toiminnasta. Helsingin Energia, tuotannon tukipalvelut. 3 s.

Häyrinen, A. 2013. Yleiskuvaus Hanasaari B-voimalaitoksen toiminnasta. . Helsingin Energia, tuotannon tukipalvelut. 3 s.

Itkonen, J. 2010. Salmisaaren voimalaitokset, laitosten yleiskuvaus. Helsingin Energia, turvallisuusselvitys. 10 s.

Kallio, A. 2009. Hiilipölykattilan NO_x- päästöjen vähentäminen vuoden 2016 IPPC-direktiivin raja-arvoihin. Espoo. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. 87 s.

Kaulamo. 2013. OKE SNCR-laitteisto typenoksidi (NO_x) päästöjen hallintaan. Osmo Kaulamo Engineering Oy. 4 s.

Kettunen, T. 2003. Puolikuivan rikinpoistomenetelmän lopputuotteen jätehuoltovaihtoehtot. Espoo. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu. 70 s.

Liiman, M. 2014. Helsingin Energia, Salmisaaren voimalaitos Paineilmaraportti, 5.10.2013 – 11.4.2014. Sarlin Oy Ab. 24 diaa.

Kaatopaikkakelpoisuuslausunto, vastaavuustesti, Hanasaari. 2014. Ramboll Analytics. 9s.

Kaatopaikkakelpoisuuslausunto, vastaavuustesti, Salmisaari. 2014. Ramboll Analytics. 9s.

REACH-, CLP- ja Biosidi neuvonta. REACH. 2013. [WWW] [Viitattu 18.2.2014] Saatavissa: <http://www.reachneuvonta.fi/fi/Saadosalue/REACH/>

Rynö, R. 2013. Salmisaaren ja Hanasaaren NO_x-päästöjen vähentäminen. Helsingin Energia, HelenVoima. 2 s.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2002. SFS-EN 12457-3. 56 s.

UUMA2-hankkeen internetsivut, <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/>. 2014

Väätäjä, S. 2009–2013. Selvitykset Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitosten palamisjätetoimituksista vuosilta 2009–2013. Helsingin energia, tuotannon tukipalvelut.

Väätäjä, S. 2012. Selvitys louhostäyttöön sijoitettavista jätteistä. Helsingin energia, tuotannon tukipalvelut. 4 s.

Väätäjä, S. 2013a. Hanasaaren B-voimalaitoksen sivutuotteet. Helsingin energia, tuotannon tukipalvelut. 6 s.

Väätäjä, S. 2013b. Salmisaaren voimalaitosten sivutuotteet. Helsingin energia, tuotannon tukipalvelut. 6 s.

Väätäjä, S. 2013c. Louhostäyttöön sijoitettavan LT/RPT-seoksen orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC). Helsingin energia, tuotannon tukipalvelut. 3 s.

Ympäristöministeriö. 2014a. CE-merkintä. [WWW] [Viitattu 17.2.2014] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/CEmerkinta

Ympäristöministeriö. 2014b. Ympäristönsuojelulain uudistaminen. [WWW] [Viitattu 1.4.2014] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Ymparistonsuojelulain_uudistaminen

ÅF-Consult Ltd. 2014a. Hanasaari B, Pelletti 40 % Esisuunnittelu. 47 s.

ÅF-Consult Ltd. 2014b. Salmisaari B, Pelletti 40 % Esisuunnittelu. 40 s.

LIITTEET

Liite 1. Hanasaaren rikinpoistolaitoksen lopputuotteen analyysituloksia blokilta 3.

pvm	S	SO ₃	SO ₄	Ca(OH) ₂	Cl	H ₂ O
24.2.2014	16,4	36,7	5,2	2,1	4,2	1
25.2.2014	16,0	37,5	3	6	3,6	1
26.2.2014	16,1	36,9	4	4,6	3,4	0,9
27.2.2014	16,7	36,8	5,9	2,8	3,7	1
28.2.2014	16,7	37,7	4,9	2,7	3,5	0,9
3.3.2014	17,0	38,4	4,9	0,8	3,8	1,0
4.3.2014	17,4	39,6	4,7	0,5	4,0	1,0
5.3.2014	17,5	38,9	5,8	0,5	4,0	1,0
6.3.2014	17,8	39,1	6,5	1,5	3,9	1,0
7.3.2014	17,2	40,4	3,1	0,7	4,7	1,7
8.3.2014				0,3	5,1	2,7
10.3.2014	17,5	40,8	3,5	0,4	5,6	2,1
11.3.2014	17,0	40,5	2,4	0,6	5,5	2,5
12.3.2014	16,6	39,5	2,4	1,7	5,5	2,5
13.3.2014	17,0	41,2	1,6	0,7	5,6	2,7
14.3.2014	17,1	42,0	2,2	0,3	5,1	2,2
17.3.2014	15,2	36,7	1,6	0,6	5,3	1,7
18.3.2014				0,1	5,2	1,7
19.3.2014	16,4	37,1	4,7	0,1	5,1	1,3
20.3.2014	15,5	36,2	3,1	0,3	5,0	1,1
21.3.2014	16,1	36,1	5,0	2,9	4,5	1,0
24.3.2014				1,3	4,2	1,0
25.3.2014				0,6	4,0	1,3
26.3.2014				0,4	4,5	1,4
27.3.2014				0,3	4,3	1,4
28.3.2014				0,2	4,5	1,5
31.3.2014				0,7	4,6	1,6

Liite 2. Hanasaaren rikinpoistolaitoksen päiväkeskiarvoja blokilta 3.

	Reaktori (in)	Reaktori (out)	SO₂ (in)	SO₂ (out)	Kalkkimaito	Pölypäästö	Erotusaste
pvm	° C	° C	mg/Nm³	mg/Nm³	m³/h	mg/Nm³	%
24.2.2014	139,2	77,6	617,2	214,3	2,10	7,4	65,3
25.2.2014	138,8	76,9	650,2	222,4	2,00	7,5	65,8
26.2.2014	136,9	75,8	683,8	252,5	2,04	7,6	63,1
27.2.2014	137,2	74,9	704,1	260,8	1,92	7,5	63,0
28.2.2014	136,8	74,9	670,4	264,6	1,87	7,5	60,5
1.3.2014	137,3	74,9	655,5	269,9	1,82	7,7	58,8
2.3.2014	137,3	74,9	659,6	269,5	1,85	7,6	59,1
3.3.2014	137,3	74,3	631,3	273,0	1,70	7,5	56,8
4.3.2014	137,7	75,3	618,7	250,2	1,51	7,2	59,6
5.3.2014	137,1	73,9	630,5	217,3	2,06	7,8	65,5
6.3.2014	137,0	73,9	736,9	190,4	2,98	7,2	74,2
7.3.2014	136,2	73,2	1029,8	207,1	3,88	5,2	79,9
8.3.2014	137,3	75,6	1073,2	258,3	4,08	4,1	75,9
9.3.2014	137,4	78,7	1079,5	286,8	4,08	4,0	73,4
10.3.2014	137,1	82,1	1029,7	269,0	3,95	4,1	73,9
11.3.2014	137,8	82,8	1017,0	224,2	3,96	4,0	78,0
12.3.2014	137,6	83,1	993,6	201,6	3,84	4,0	79,7
13.3.2014	136,4	82,9	846,6	182,2	3,29	4,1	78,5
14.3.2014	137,2	81,1	526,0	219,9	1,70	4,1	58,2
15.3.2014	137,7	81,2	463,5	233,5	1,46	4,3	49,6
16.3.2014	137,5	81,2	426,8	250,6	1,00	4,2	41,3
17.3.2014	135,9	80,2	556,9	210,8	1,69	4,2	62,1
18.3.2014	137,1	79,1	480,0	215,6	1,64	4,2	55,1
19.3.2014	136,3	79,1	422,0	222,8	1,48	4,2	47,2
20.3.2014	134,9	79,1	441,7	198,3	1,06	4,2	55,1
21.3.2014	136,4	78,2	556,5	160,9	2,14	4,3	71,1
22.3.2014	136,9	76,6	604,7	147,6	2,66	4,2	75,6
23.3.2014	136,9	75,0	603,4	158,1	2,49	4,2	73,8
24.3.2014	136,0	82,1	554,3	293,7	2,06	48,8	47,0
25.3.2014	137,0	74,6	520,2	188,9	2,11	5,0	63,7
26.3.2014	136,0	78,0	661,1	265,2	2,54	21,4	59,9
27.3.2014	134,1	74,0	680,9	175,1	2,68	4,9	74,3
28.3.2014	135,3	74,0	714,5	166,9	2,96	4,8	76,6
29.3.2014	133,1	74,0	672,1	182,2	2,59	4,6	72,9
30.3.2014	132,6	74,0	649,3	183,3	2,53	4,7	71,8
31.3.2014	136,4	74,0	704,4	165,7	3,31	4,7	76,5

Liite 3. Hanasaaren rikinpoistolaitoksen lopputuotteen analyysituloksia blokilta 4.

pvm	S	SO ₃	SO ₄	Ca(OH) ₂	Cl	H ₂ O
24.2.2014	16,0	36,1	4,7	1,5	3,9	0,9
25.2.2014	15,5	36,5	2,7	1,1	3,4	0,9
26.2.2014	16,1	36,1	5,0	1,2	3,4	1,0
27.2.2014	16,5	36,9	5,2	1,1	3,4	0,9
28.2.2014	16,9	38,3	4,7	1,3	3,4	0,9
3.3.2014	17,0	38,8	4,4	0,8	3,7	1,1
4.3.2014	17,2	39,3	4,0	0,4	3,8	1,3
5.3.2014	17,5	39,6	5,0	0,9	3,9	1,1
6.3.2014	17,8	40,1	5,3	1,1	4,0	0,9
7.3.2014				0,8	4,5	1,7
7.3.2014	17,7	40,3	4,7	1,2	4,7	2,2
8.3.2014				0,4	5,2	3
10.3.2014	17,8	41,2	4,0	0,5	5,6	2,2
11.3.2014	17,3	39,7	4,3	0,7	5,4	2,5
12.3.2014	16,9	40,7	1,9	0,4	5,5	2,5
13.3.2014	16,5	41,3	0	2,2	5,4	2,4
14.3.2014	17,0	42,0	0,6	4,5	5,1	2,1
17.3.2014	15,8	38,1	1,7	1,7	5,2	1,5
18.3.2014				0,6	5,0	1,3
19.3.2014	16,2	40,8	0	0,6	5,1	1,2
20.3.2014	16,6	36,8	5,6	0,8	4,9	1,1
21.3.2014	16,0	35,7	5,2	0,4	4,3	1,0
24.3.2014				0,4	4,0	1,1
25.3.2014				1,5	4,3	1,3
26.3.2014				1,1	4,4	1,3
27.3.2014				1,2	4,4	1,3
28.3.2014				1,1	4,5	1,5
31.3.2014				1,3	4,7	1,6

Liite 4. Hanasaaren rikinpoistolaitoksen päiväkeskiarvoja blokilta 4.

pvm	Reaktori (in)	Reaktori (out)	SO ₂ (in)	SO ₂ (out)	Kalkkimaito	Pölypäästö	Erotusaste
	° C	° C	mg/Nm ³	mg/Nm ³	m ³ /h	mg/Nm ³	%
24.2.2014	132,2	76,1	681,7	184,8	3,90	21,8	72,9
25.2.2014	132,3	74,3	707,4	161,2	3,85	21,6	77,2
26.2.2014	131,9	73,7	664,5	167,6	3,30	21,6	74,8
27.2.2014	131,8	72,6	721,1	164,1	3,67	22,7	77,2
28.2.2014	132,3	71,9	689,3	158,8	3,34	23,3	77,0
1.3.2014	132,0	71,8	671,7	156,8	3,54	24,3	76,7
2.3.2014	132,1	71,3	684,2	158,7	3,53	24,6	76,8
3.3.2014	132,0	71,2	667,0	158,6	3,38	23,9	76,2
4.3.2014	132,1	72,8	663,2	158,5	3,68	23,2	76,1
5.3.2014	131,8	70,8	673,6	156,5	3,24	22,8	76,8
6.3.2014	131,6	70,7	760,7	158,9	3,78	22,7	79,1
7.3.2014	131,2	70,7	1108,1	159,5	4,91	12,0	85,6
8.3.2014	132,5	74,4	1104,0	199,9	4,93	10,1	81,9
9.3.2014	132,0	78,3	1092,0	231,6	4,97	8,0	78,8
10.3.2014	132,0	81,9	1075,0	216,4	5,02	8,7	79,9
11.3.2014	131,2	82,5	1008,1	213,4	4,60	7,9	78,8
12.3.2014	131,1	82,9	1000,0	183,3	4,90	8,1	81,7
13.3.2014	130,0	82,7	881,1	155,6	3,16	9,0	82,3
14.3.2014	130,6	80,9	514,9	166,9	2,02	9,0	67,6
15.3.2014	131,5	80,8	605,5	160,3	2,96	10,3	73,5
16.3.2014	132,1	80,9	543,1	166,6	2,59	10,6	69,3
17.3.2014	131,3	81,2	642,2	157,8	3,34	12,4	75,4
18.3.2014	132,0	79,9	483,4	159,8	2,53	14,8	66,9
19.3.2014	131,6	79,3	487,8	153,2	2,52	15,2	68,6
20.3.2014	131,5	78,8	564,3	145,9	3,65	16,3	74,1
21.3.2014	131,5	78,0	613,5	136,3	4,31	17,2	77,8
22.3.2014	131,1	76,2	644,2	133,9	3,72	17,9	79,2
23.3.2014	132,2	72,6	648,7	139,4	3,41	22,4	78,5
24.3.2014	131,6	71,7	623,7	154,0	2,21	20,4	75,3
25.3.2014	129,9	71,7	573,9	163,2	2,40	5,0	71,6
26.3.2014	131,6	71,7	692,7	158,0	3,07	21,4	77,2
27.3.2014	130,9	71,7	726,4	154,0	3,05	4,9	78,8
28.3.2014	130,2	71,7	734,2	152,0	2,94	4,8	79,3
29.3.2014	130,1	71,6	723,5	155,8	2,94	4,6	78,5
30.3.2014	129,6	71,6	704,0	156,1	2,71	4,7	77,8
31.3.2014	131,4	71,7	781,4	147,8	3,78	4,7	81,1

Liite 5. Salmisaaren rikinpoistolaitoksen lopputuotteen analyysituloksia.

pvm	S-pit (%)	SO₃	SO₄	Ca(OH)₂	Cl	H₂O
3.2.2014	17,2	38,8	5,0	0,5	3,4	2,3
4.2.2014	16,9	41,4	1,0	0,6	2,7	2,3
5.2.2014	17,8	38,3	7,4	0,5	2,6	2,5
6.2.2014	16,9	38,5	4,5	0,5	3,5	2,7
7.2.2014	18,0	38,6	7,7	0,5	3,1	2,3
8.2.2014	18,0	41,2	4,6	0,4	3,2	2,3
9.2.2014	18,0	41,7	4,0	0,7	3,5	2,5
10.2.2014	17,7	41,7	3,1	0,6	3,6	2,2
11.2.2014	17,9	41,8	3,5	0,6	3,5	2,1
12.2.2014	17,7	40,8	4,1	0,9	3,4	2,1
13.2.2014	17,9	42,2	3,1	0,8	3,2	2,3
14.2.2014	18,2	43,1	2,9	0,8	3,8	2,0
15.2.2014	18,3	42,9	3,4	1,1	3,4	2,4
16.2.2014	17,8	41,8	3,2	0,6	3,3	2,4
17.2.2014	18,1	41,9	4,0	0,6	3,8	2,1
18.2.2014	18,0	41,8	3,8	0,7	3,6	2,3
19.2.2014	18,1	42,9	2,8	1,2	4,2	2,3
20.2.2014	18,2	31,8	16,4	1,0	4,8	2,6
21.2.2014	17,4	43,2	0,4	0,7	4,9	3,2
22.2.2014	17,1	39,3	4,1	1,0	4,3	2,9
23.2.2014	18,2	41,3	5,0	0,4	4,6	3,2
24.2.2014	18,3	41,8	4,7	0,4	4,7	3,1
25.2.2014	18,8	44,0	3,6	0,8	4,9	2,9
26.2.2014	19,1	42,5	6,3	0,4	4,8	2,6
27.2.2014	18,9	41,6	6,8	0,5	4,4	2,6
28.2.2014	19,0	40,5	8,4	0,8	3,9	2,6
1.3.2014	17,7	42,4	2,2	0,7	3,4	2,6
2.3.2014	18,7	45,0	2,1	0,3	4,1	2,8
3.3.2014	18,6	43,7	3,4	0,4	4,3	2,8
4.3.2014	18,6	43,6	3,5	0,4	4,0	2,6
5.3.2014	18,8	43,9	3,7	0,4	4,1	2,6
6.3.2014	17,8	42,9	1,9	0,5	4,4	3,0
7.3.2014	17,9	41,0	4,5	0,5	5,2	3,1
8.3.2014	18,8	43,2	4,6	0,6	4,8	3,5
9.3.2014	18,7	43,2	4,3	0,4	4,8	3,6
10.3.2014	18,4	44,1	2,3	0,5	5,6	3,2
11.3.2014	18,8	44,0	3,6	0,6	5,5	3,3
12.3.2014	19,2	43,6	5,3	0,7	5,4	3,4
13.3.2014	18,9	44,3	3,5	0,8	5,4	3,4
14.3.2014	18,8	43,8	3,8	0,4	5,4	2,8
15.3.2014	17,3	41,8	1,7	0,5	4,5	3,7

16.3.2014	17,9	42,9	2,2	0,7	4,6	3,6
17.3.2014	18,1	43,8	1,7	0,7	4,3	2,9
18.3.2014				0,4	4,5	2,6
19.3.2014				0,7	4,3	2,8
20.3.2014				0,5	4,3	2,5
21.3.2014				0,6	4,5	2,6
22.3.2014						2,9
23.3.2014						3,5
24.3.2014	17,7	40,7	4,3	0,8	5,5	3,4
25.3.2014				0,5	5,5	3,6
26.3.2014				0,3	5,7	3,3
27.3.2014				0,7	5,1	3,3
28.3.2014				0,2	5,3	3,3
29.3.2014						3,5
30.3.2014						3,6
31.3.2014	18,1	44,1	1,4	0,4	5,1	3,8

Liite 6. Salmisaaren rikinpoistolaitoksen päiväkeskiarvoja.

pvm	Reaktori 1 (in)	Reaktori 1 (out)	Reaktori 2 (in)	Reaktori 2 (out)	SO ₂ (in)	SO ₂ piippu	Kalkkimaito
	° C	° C	° C	° C	mg/Nm ³	mg/Nm ³	m ³ /h
3.2.2014	124,7	77,4	124,9	77,1	802,7	150,9	4,04
4.2.2014	126,7	77,3	127,0	77,1	826,4	148,0	4,23
5.2.2014	128,7	77,4	129,1	77,1	792,7	148,4	4,46
6.2.2014	126,2	77,4	126,8	77,1	743,4	144,6	4,06
7.2.2014	127,1	77,4	127,9	77,1	796,4	142,9	3,24
8.2.2014	127,8	77,4	128,6	77,1	768,6	150,5	2,99
9.2.2014	127,5	77,4	128,1	77,1	761,8	153,1	2,79
10.2.2014	129,0	77,4	130,3	77,1	782,3	165,0	2,97
11.2.2014	128,7	77,4	130,0	77,3	781,2	150,2	2,95
12.2.2014	127,3	77,4	127,8	77,4	769,4	139,5	3,03
13.2.2014	127,0	77,4	127,6	77,4	785,1	152,4	3,21
14.2.2014	127,6	77,4	128,6	77,4	826,3	142,0	3,57
15.2.2014	128,7	77,3	130,2	77,4	824,9	159,7	3,56
16.2.2014	127,5	77,3	128,4	77,4	800,5	145,0	3,27
17.2.2014	127,4	77,4	128,0	77,4	837,5	145,7	3,67
18.2.2014	129,8	77,4	131,0	77,4	989,0	123,7	4,59
19.2.2014	127,5	77,4	128,3	77,4	1088,7	122,2	4,61
20.2.2014	128,9	77,4	129,9	77,4	1145,1	126,8	4,90
21.2.2014	128,2	77,3	129,0	77,4	1056,5	135,9	4,22
22.2.2014	131,5	77,3	132,4	77,4	939,2	117,8	3,58
23.2.2014	130,8	77,4	131,7	77,4	922,7	118,7	3,54
24.2.2014	131,8	77,3	132,8	77,4	919,9	139,0	3,94
25.2.2014	129,7	77,3	130,8	77,4	928,6	134,1	3,78
26.2.2014	129,8	77,3	130,6	77,4	954,8	126,3	3,96
27.2.2014	129,8	77,4	130,8	77,4	994,6	131,1	3,82
28.2.2014	128,4	77,4	128,9	77,4	1004,0	129,2	3,90
1.3.2014	127,6	77,4	127,6	77,4	896,6	160,0	3,82
2.3.2014	128,2	77,3	128,0	77,4	839,7	163,2	3,80
3.3.2014	129,1	77,4	129,8	77,4	962,7	138,2	4,42
4.3.2014	129,4	77,4	129,7	77,4	1119,5	117,1	4,64
5.3.2014	129,6	77,3	130,5	77,4	1280,5	114,1	5,47
6.3.2014	131,1	77,3	132,2	77,4	1291,9	106,6	5,28
7.3.2014	128,5	77,3	129,9	77,4	1274,4	113,4	5,16
8.3.2014	128,4	77,3	129,2	77,4	1263,9	114,4	4,40
9.3.2014	130,3	77,3	131,4	77,4	1253,9	102,5	4,89
10.3.2014	126,6	77,3	127,2	77,4	1250,9	117,8	4,15
11.3.2014	127,3	77,3	128,1	77,4	1265,9	113,0	4,64
12.3.2014	125,3	77,3	125,9	77,4	1179,3	117,8	3,40

13.3.2014	126,6	77,3	127,4	77,4	1089,6	110,4	3,17
14.3.2014	122,3	74,6	122,2	80,4	994,1	291,2	3,97
15.3.2014	129,3	77,9	130,4	77,8	993,5	79,8	4,18
16.3.2014	128,5	77,9	129,6	77,8	969,7	95,6	4,19
17.3.2014	129,3	77,9	130,7	77,8	1000,6	91,3	4,47
18.3.2014	130,3	77,9	131,4	77,8	1018,6	95,6	4,84
19.3.2014	130,1	77,9	131,0	77,8	1020,5	99,7	4,53
20.3.2014	127,7	77,9	128,2	77,8	1055,0	82,0	4,35
21.3.2014	128,2	77,9	128,9	77,8	1150,8	90,4	4,06
22.3.2014	131,4	77,8	132,3	77,8	1176,8	101,3	4,96
23.3.2014	131,1	77,8	132,1	77,8	1186,5	89,9	5,08
24.3.2014	129,4	77,8	130,2	77,8	1188,7	86,5	4,83
25.3.2014	127,5	77,8	128,0	77,8	1174,7	100,0	3,82
26.3.2014	130,8	77,8	131,6	77,8	1221,9	95,1	4,94
27.3.2014	128,2	77,8	128,7	77,8	1206,3	92,1	4,25
28.3.2014	129,0	77,8	129,3	77,8	1208,2	108,0	4,46
29.3.2014	129,8	77,8	130,6	77,9	1191,7	93,3	4,54
30.3.2014	129,4	77,8	130,5	78,0	1182,5	82,3	4,34
31.3.2014	130,9	77,8	132,0	78,0	1202,9	96,5	4,79